



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería de Telemática

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE VÍDEO DE ALTAS PRESTACIONES

Autor: Lara Cancela García

Tutor: Francisco Valera Pintor

Leganés, 5 de Julio de 2013

Título: DISEÑO DE UN SISTEMA DE VÍDEO DE ALTAS PRESTACIONES

Autor: Lara Cancela García

Tutor: Francisco Valera Pintor

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 5 de Julio de 2013 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Como en todos los buenos trabajos son muchas las personas a quienes quiero manifestar mi agradecimiento ya que con la presentación de este proyecto fin de carrera se cierra un capítulo y sobretodo una etapa de mi vida en la Universidad Carlos III de Madrid en la que he tenido la oportunidad de formarme en una profesión tan especial y relevante como es la ingeniería telemática.

A todos los amigos que he hecho durante la carrera, a mis compañeros en la larga y oscura senda del proyecto fin de carrera y soportar el pequeño caos que soy, por las largas conversaciones sobre la vida y ser compañeros excepcionales, a todos os tengo un cariño enorme y habéis contribuido enormemente.

Y finalmente, quiero dedicar este trabajo a la personas más importantes en mi vida, mis padres, por todas esas cosas inefables que suponen que ser su hija sea el mayor de los orgullos, el mayor de los regalos. Y en especial, al pequeño de la casa. Gracias por quererme tanto.

Por todo y a todos, muchísimas gracias.

Resumen

Este proyecto se centra en los subsistemas de seguridad CCTV (*Sistema de Circuito Cerrado de Televisión*) encargados de monitorizar y controlar los accesos en áreas restringidas, mediante el uso de cámaras IP y sistemas de grabación y visualización principalmente, estudiando en detalle la implantación de la tecnología de red de transporte OTN (*Open Transport Network*) así como características de funcionamiento proporcionando una solución de vídeo en red, a través de una red óptica de comunicación. Además de la capacidad de transmitir la información de la aplicación de usuario, se describirá cómo es posible dar soporte a distintos servicios.

Abstract

This project focuses on CCTV (*Closed Circuit Television and Video*) security systems managing the access control in restricted areas using IP cameras and recording and display systems mainly, studying in detail the transport network technology OTN (*Open Transport Network*) as such as performance characteristics to provide a video network solution, through a optical communication network. Besides the ability to transmit information to the user application, this project describes how it is available to support different services.

Índice de figuras

Figura 1: Estructura de paquete RTP

Figura 2: Ejemplo de generación de trama TDM

Figura 3: Cámara de red, modelo Axis DOMO fijo M3203-V

Figura 4: Codificador de vídeo, modelo Axis Q7401

Figura 5: Equipo de gestión de Vídeo, modelo Axis 250S

Figura 6: Equipo de control CCTV, modelo HP Proliant DL380 G7 L5630

Figura 7: Software de gestión de Vídeo, modelo Axis Camera Station

Figura 8: Monitor de vídeo digital, modelo HP f70 D5064 17" Color

Figura 9: Equipo grabador de vídeo, modelo Axis 2460

Figura 10: Perfil de fibra SM de SI, modelo

Figura 11: Nodo de red OTN-X3M-N415

Figura 12: Nodo de red OTN-X3M-N42C

Figura 13: Funcionamiento de anillo óptico OTN

Figura 14: Switch Gb. Ethernet, modelo Huawei S3326C-HI

Figura 15: Arquitectura de la plataforma multimedia OTN

Figura 16: Esquema de conexiones de red para aplicación de vídeo en red

Figura 17: Estructura de tramas de la red OTN

Índice de tablas

Tabla 1: Estándar de Transmisión Digital Síncrona SDH

Tabla 2: Elementos del nodo 1, OTN-X3M-N415

Tabla 3: Elementos del nodo 2, OTN-X3M-N415

Tabla 4: Elementos del nodo 3, OTN-X3M-N42C

Tabla 5: Tipos de cables coaxiales

Tabla 6: Soporte de especificaciones del switch de vídeo

Tabla 7: Costes personales del proyecto

Tabla 8: Desarrollo del proyecto por meses y actividades

Tabla 9: Costes materiales del proyecto

Índice general

Índice de figuras	11-12
Índice de tablas	13
Índice general.....	14-15
1. Introducción	17-26
1.1 Motivación del proyecto	17-21
1.2 Objetivos	22-24
1.3 Contenido de la memoria	24-26
2. Estado del Arte	27-52
2.1 Protocolos para aplicaciones interactivas en tiempo real	27-32
2.1.1 RTP	27-29
2.1.2 RTCP	29-31
2.1.3 RTSP	31-32
2.2 Protocolos para videoconferencia	32-36
2.2.1 SIP	33-36
2.2.2 H.323	36
2.3 Estándares de compresión de vídeo	37-39
2.3.1 H.264	37-39
2.3.2 H.263	39
2.4 Calidad de servicio	40-44
2.4.1 Introducción	40
2.4.2 SDH/SONET	40-43
2.4.3 TDM	43-44

2.5 Monitorización en redes OTN	45-52
2.5.1 Introducción	45-48
2.5.2 SNMP	49-50
2.5.3 SNMPv3	51-52
3. Diseño del Sistema.....	53-101
3.1 Funciones del sistema.....	53-62
3.1.1 Descripción general	53-56
3.1.2 Requisitos del sistema	57-60
3.1.3 Actores del sistema	60-62
3.2 Diseño del sistema de vídeo.....	63-91
3.2.1 Sistema CCTV	63-75
3.2.2 Red OTN	75-91
3.3 Justificación del diseño	91-101
4. Presupuesto.....	102-104
4.1 Presupuesto del proyecto	102-104
5. Conclusiones y líneas de trabajo futuras	105-109
5.1 Conclusiones.....	105-107
5.2 Líneas de trabajo futuras	108-109
Glosario	110-113
Referencias.....	114-117
Contenido del anexo.....	118-119

Capítulo 1

Introducción

1.1 Motivación del proyecto

Es un hecho constatado que cada vez son más las instalaciones que requieren un sistema de seguridad, garantizando así la fiabilidad de lo que está ocurriendo exactamente en el entorno en concreto. Un claro ejemplo son los sistemas de control de los aeropuertos, donde las comunicaciones internas deben controlarse y gestionarse adecuadamente, con el objetivo de vigilar el acceso a las áreas restringidas mediante la combinación e integración de complejos sistemas de comunicaciones, compatibles con las características específicas de la instalación en concreto.

Cuando se diseñan estos sistemas de seguridad, se tienen en cuenta las técnicas digitales de los elementos electrónicos necesarios, los medios de transmisión y las características de comunicación de la infraestructura de red que requiere la implantación del sistema, de tal manera que unos subsistemas se integran con otros, para atender a las

necesidades o requisitos del cliente y la plataforma en cuestión. Es decir, cada proyecto, requiere unos elementos y una integración de aplicación concreta.

Por otro lado, se observa que estos sistemas de seguridad proporcionan finalmente un servicio de comunicación y disponibilidad de contenido multimedia de forma simultánea en un área restringida, con requerimientos temporales más exigentes que otras aplicaciones multimedia ya que se trata generalmente de sistemas multicast, gestionando en su mayoría los procesos de control establecidos por el cliente. Por ejemplo, la activación de una alarma en respuesta a un acceso no permitido, de manera que el consiguiente procesamiento y validación de la información de control, debe transmitirse de modo secuencial y confiable.

Es decir, la valoración de la QoS (*Quality of Service*) de este tipo de servicios depende siempre de la fiabilidad de la información multimedia intercambiada asociada con aspectos como son la compresión de la información o el retardo en recepción. Es decir, a diferencia de las aplicaciones multimedia también sobre IP que se utilizan normalmente en nuestra vida diaria, en el campo de la seguridad los fabricantes de equipos se diseñan y se modifican con el objetivo de proporcionar altas prestaciones en términos de procesamiento en lo que respecta a interfaces de red y técnicas de almacenamiento de los datos que se envían, comprimen y por último se visualizan. Y dado que actualmente se tiende a la comunicación de vídeo digital, de manera que dichas infraestructuras resultan mucho más eficaces para las empresas que lo ofertan, se considera que no es suficiente solo ofrecer una tecnología punta, sino que un ahorro en costes también es un aspecto a considerar a la hora de elegir el nivel de servicio que merecen este tipo de plataformas.

Por tanto, parece lógico pensar que para proporcionar políticas de seguridad establecidas del entorno en concreto (en nuestro caso, vigilancia de vídeo), la tecnología y diseño del sistema de vídeo en red o CCTV **[1]**, debe centrarse en los medios de señalización, canales de comunicación y los elementos de conmutación de red, ya que se tratan de servicios orientados a conexión, pues se combinan distintas subredes con capacidad de transmisión distintas. Mayoritariamente, se observa que los sistemas de seguridad prestan sus servicios con tecnologías de transmisión óptica SDH/Sonet **[2]**. En particular, el tipo de aplicaciones que aquí se presenta se basa en la utilización de medios de transmisión de fibra óptica y/o coaxial,

siempre haciendo uso de conexiones serie (Ejemplos: RS-485 y RS-232) y Gb. Ethernet en su mayoría, dada la elevada tasa de transferencia que conllevan este tipo de aplicaciones de usuario y uso interrumpido del mismo, utilizando en su mayoría equipos de grabación y almacenamiento inteligentes. Es decir, las consideraciones de almacenamiento de los distintos servidores de aplicaciones que aparecen, el proceso de almacenamiento está sujeto en su mayoría a normas de confidencialidad muy específicas, de hecho físicamente también suelen estar protegidos con equipos diseñados para dicha funcionalidad, aunque en este proyecto no se han tenido en cuenta estas consideraciones pues no hay una instalación cliente concreta o zona de acceso controlada, sino que se presenta para un entorno genérico de uso industrial como puede ser la zona que comprende el campus de Getafe y de Leganés, ya que la plataforma seleccionada y los parámetros de uso de la tecnología de vídeo elegida para nuestra aplicación de vídeo en red o sistema CCTV, son útiles cuando se quiere cubrir una zona de grandes dimensiones.

Por otro lado, es importante mencionar que independientemente de los objetivos de diseño pensados para el proyecto (descritos al final de este Capítulo 1), el uso de estándares de tecnologías inalámbricas como WiFi o ADSL, representan un peligro para el acceso a las distintas redes y contenidos de los distintos equipos de grabación y almacenamiento, con especial hincapié en el módulo de gestión de red incluido en el diseño presente. De hecho la técnica de comunicación determinista que se utiliza con la tecnología de red OTN (*Open Transport Network*) se considera una solución tecnológica muy fiable aunque de costes elevados, tanto en hardware (nodos de red que forman la plataforma multimedia o red de distribución), como en los elementos de la electrónica de red necesarios para proporcionar el sistema de video en red presentado en este proyecto. Por lo tanto, el hecho de proporcionar un módulo de administración de las distintas conexiones de red existentes (pues a nivel de identificación de servicios y provisión de la solución de vídeo en red propuesta, el número de estándares que son necesarios es elevado) y es más que evidente la provisión de un servicio de monitorización que permita al administrador de la red original visualizar el estado de los distintos equipos de la aplicación de CCTV, reutilizando al máximo de este modo los equipos de la plataforma multimedia.

A nivel de aplicación, en este tipo de sistemas se observa que además de tener en cuenta la parte electrónica e implantación en hardware, se debe incluir un software con

capacidad de monitorización remota de interfaces en tiempo real, aprovechando así la totalidad de beneficios del producto de red de transporte OTN.

De manera general, la solución de vídeo en red que proponemos requiere entre otros la consideración de estándares específicos para prestaciones de redes como es el caso de la especificación 802.1w [3], con el objetivo de reducir el tiempo de convergencia de la infraestructura de red o como mecanismo de autoregeneración que comúnmente se conoce. Y por consiguiente, el almacenamiento de la información de manera automática, pues el objetivo de estos sistemas es tener conocimiento de que se están cumpliendo las políticas de seguridad establecidas compatible con los elementos que forman el sistema.

Por otro lado, actualmente existe la tendencia de que las redes locales estén divididas en grupos de trabajo conectadas por redes troncales o *backbones* para formar una topología de LAN virtual (VLAN) [4]. Es decir, parece que las redes virtuales separan eficientemente el tráfico, suministrando una mejor utilización del ancho de banda mediante la segmentación a nivel lógico (no físico) de la infraestructura de la red en diferentes subredes, de forma que los paquetes son conmutados solamente entre puertos dentro de una misma red virtual. Es decir, en este proyecto se propone un soporte de gestión de red centralizado, que consiste en el intercambio de información de priorización de tráfico haciendo uso de segmentos de red del tipo VLANs pues el objetivo es separar en diferentes dominios de difusión la cantidad de tráfico de los equipos pertenecientes a la aplicación que se conecta a la plataforma con el objetivo final de conseguir un nivel de congestión menor de los equipos clientes/servidores pertenecientes a distintos grupos de trabajo en función del nodo al que se conectan pues la ventaja funcional de esta tecnología de red consiste en la fácil adaptación de equipos de seguridad, en nuestro caso una aplicación de TV en circuito cerrado en entorno campus, destacando la capacidad de comunicación determinista que se garantiza con este tipo de redes.

En nuestro caso, se realiza un estudio de viabilidad del funcionamiento de un sistema de vídeo en red IP con el fabricante AXIS [5] el cual dispone de los equipos requeridos a un coste asequible y funcionamiento sencillo, y de este modo se intenta diseñar una infraestructura de red de manera que los servicios de vídeo y datos ofrecidos por dicho

sistema de acuerdo a las especificaciones técnicas de los medios de transmisión a nivel de enlace más comunes en este tipo de aplicaciones [6]. Particularmente, fijándonos en un entorno abierto de grandes dimensiones, para lo cual ha sido necesario tener en cuenta algunos parámetros generales de la red o plataforma cliente del diseño en cuestión (distancia entre nodos o estaciones de red, distancias entre los extremos de la comunicación y tipo de aplicaciones finales de control) diseñando una infraestructura de red de acuerdo a los requerimientos por una lado de política de accesos de la propia instalación cliente, y por otro lado, respetando las especificaciones técnicas requeridas por la propia tecnología de red OTN (*Open Transport Network*) [7] .

En resumen, el tipo de equipamiento o hardware de la red elegido OTN622-X3M para este proyecto, se concluye que además de ser un sistema privado de comunicación por fibra muy flexible, permitiendo la distribución de flujos de vídeo de alta calidad de forma segura por cualquier red IP (sea local o a través de Internet) desde la aplicación que se integra a la plataforma, establece restricciones de QoS con requisitos temporales bien distintos por ejemplo a los sistemas de descarga P2P o VoD [8] en el sentido en que estos últimos no dependen de un módulo de administración remota aunque conceptualmente los protocolos de comunicación y conversión de información sean muchas veces distintos y dicha tecnología de red resulta ser una buena solución tecnológica para este tipo de aplicaciones.

En el Capítulo 3, se describe en detalle todo el equipamiento del diseño presente, y se explican los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de elegir un modelo u otro de cable y fibra, en función del ancho de banda requerido por las aplicaciones integradas a la plataforma multimedia, a la hora de conectar los nodos que forman la red óptica OTN que retransmiten tanto las alarmas de notificación de red como el contenido multimedia, los cuales se consideran que están lejos unos de otros.

1.2 Objetivos

A continuación, se describen los objetivos técnicos y funcionales del presente proyecto, a fin de comprender las características de la red de transporte propuesta y servicios que nuestro sistema es capaz de ofrecer, con ayuda de la integración de dos redes de seguridad con funciones bien distintas: la primera de ellas, asociada al sistema CCTV, y la segunda de ellas (no obligatoria) para el aprovisionamiento de un servicio de gestión de red en base a la aplicación de vídeo o TV en circuito cerrado. En concreto, para el diseño de nuestro sistema completo se han tenido en cuenta las siguientes funcionalidades o requerimientos generales:

1. Intentar reducir de alguna manera el retardo total que se produce en el establecimiento del enlace en un sistema de comunicación entre dos nodos, a través del uso de técnicas digitales con técnicas de transmisión síncrona en redes ópticas, pues se sabe que algunas aplicaciones que manejan audio y/o vídeo son sensibles al retardo aunque insensibles a la pérdida de datos, tal y como se detalla en el Capítulo 2.
2. Diseñar una red de comunicación donde la señal eléctrica digital generada por las cámaras del sistema CCTV sea transmitida a lo largo de la red, aplicando la menor distorsión y atenuación posible, debido al proceso de digitalización y codificación que tiene lugar, en la transmisión e intercambio de vídeo en tiempo real.
3. Proporcionar compatibilidad de estándares en el modelo de red óptica propuesta, cuya plataforma permite integrar diferentes tipos de información (voz, datos y vídeo), haciendo uso para ello de la tecnología de red óptica SDH, en combinación con la técnica de transporte de datagramas IP en tramas Gb. Ethernet multicast. La solución que se quiere utilizar a nivel de red, será la técnica de multiplexación TDM sobre IP [9].
4. Integración del sistema CCTV o aplicación de TV en circuito cerrado, de manera que los datagramas multicast se envíen de forma ordenada, mediante el establecimiento de conexiones ópticas unidireccionales, utilizando para ello una red óptica de transporte específica: OTN622-X3M.

5. Proporcionar una configuración de red en modo infraestructura, de manera que las redes LAN por donde se transmite la información multimedia, formen un anillo óptico con las interfaces ópticas de red adecuadas, según la norma G.657B **[10]** de la serie G de la recomendación G.657 **[11]** del grupo 15 de la ITU-T.
6. Interoperabilidad con la definición de nuevos perfiles de uso con los códecs de vídeo H.264 **[12]** de la serie H para sistemas multimedia (versión 4). Esto es, la pantalla de visualización presente en el módulo de gestión de vídeo (ver Capítulo 3), debe ser capaz de obtener los distintos flujos de vídeo codificados con este tipo de compresión de imágenes, capturadas por las cámaras de vigilancia IP. Para ello, se quiere que el medio físico sea compatible con la norma MIL C-17 la cual es compatible con la tecnología de comunicación serie RS-232 **[13]** pensada para comunicaciones en Bus Multi- Punto. A nivel físico, se propondrá el uso de cables coaxiales del tipo específico RG 59-CCTV, separando de este modo la red LAN del sistema CCTV (cámaras, codificadores de vídeo y grabador) del módulo de gestión de vídeo y acceso remoto al contenido. En resumen, en ambos módulos del sistema la distribución de conexiones se proporcionará mediante un servicio de red multipunto en una red óptica, con topología o configuración lógica en anillo, por donde se enviará todo el tráfico de la aplicación de vídeo en red o TV en circuito cerrado: contenido multimedia (vídeo codificado con H.264), notificaciones asociadas al módulo de administración de red incluido (estado de interfaces, equipos y asignación uniforme del ancho de banda) mediante el uso de tarjetas de interfaz RSXMM con el objetivo de simplificar el diseño.
7. Posibilitar el suministro de un servicio de administración de red o monitorización, basado en el protocolo de gestión de red SNMPv3 **[14]**, de manera que se tenga conocimiento del estado y configuración de los nodos que forman la red óptica OTN y los elementos de la aplicación de vídeo integrada, ofreciendo así una interfaz gráfica sencilla de visualización de dicha plataforma de servicios multimedia. Para la comunicación con el módulo de gestión de red, se quiere mantener el tipo de señalización. Es decir, en el tipo de configuración de red óptica OTN622-X3M con TDM, se verá que no sólo es necesario el uso de tarjetas de interfaz compatibles con el estándar IEEE 802.3 el cual permite crear redes Ethernet completamente transparentes a través de la red de transporte, sino que será necesario el uso de tarjetas de control para la multiplexación de tramas de datos con el sistema TDM síncrono y proporcionar de este modo un modo de comunicación determinista de sistema de vídeo en red. Aparte,

la plataforma OTN se integrará de manera opcional con una aplicación de monitorización o gestión de red, la cual contará con un módulo de administración desde el cual se pueda seleccionar la velocidad o tasa máxima de la red óptica OTN y asegurar el funcionamiento interrumpido de la misma ante posibles fallos, en el caso de que el sistema se implantara en un escenario real (preferiblemente en áreas de exteriores, dado el modelo de cámara incluido en la aplicación de vídeo para interiores).

8. Sabiendo que las redes OTN permiten la integración de aplicaciones de video y audio, mediante dos configuraciones o arquitecturas de red posibles, no necesitando la primera de ellas enlaces físicos (conexiones virtuales compatibles con el estándar IEEE 802.1Q), en este trabajo nos hemos centrado en el segundo caso de diseño de red que nos permitía la inclusión de hardware confiable y análisis de interoperabilidad con otros estándares y protocolos ya conocidos. Este dato es importante dado que los resultados teóricos a nivel de retardo y pérdidas son distintos (consultar Capítulo 3) aunque el sistema se podría diseñar con ambas arquitecturas. Es decir, la diferencia entre ambos modelos consistiría en que el transporte de las tramas de vídeo contenido multimedia se realizaría a través de interfaces y estaciones de red en distintas líneas de trabajo y por tanto se precisan capacidades y elementos de operación diferentes.

1.3 Contenido de la memoria

A continuación, se describen los capítulos contenidos en la memoria presente:

Capítulo 1. Introducción: En este capítulo se presenta el planteamiento del presente proyecto, citando servicios audiovisuales similares a un sistema de vídeo en red como el propuesto en el presente proyecto.

Capítulo 2. Estado del Arte: En este capítulo se describen los diversos protocolos de transporte, estándares de compresión, sistema de transmisión digital síncrona, técnica de multiplexación en el dominio del tiempo necesarios para proporcionar un servicio de vídeo con comunicación óptica e infraestructura *Gb. Ethernet*. Además, se describen los protocolos principales de señalización en el caso de tráfico de voz sobre IP y el protocolo de gestión de red pregunta-respuesta SNMPv3, y demás estándares relacionados que aparecen en el sistema completo que están estrechamente relacionados con el funcionamiento de la

plataforma multiservicios e integración de una aplicación de usuario del tipo de vídeo en red.

Capítulo 3. Diseño del Sistema: En este capítulo se describen los distintos elementos y medios de transmisión en el sistema de vídeo en red propuesto, según las características técnicas descritas en el Capítulo 1. Además se describe en detalle cómo es posible la integración del sistema CCTV y uso específico de la red de transporte OTN-X3M. Es decir, para que sea posible la integración de un sistema de circuito cerrado de televisión con una plataforma multimedia, es necesario conocer los distintos tipos de interfaces que soporta, técnicas de compresión y almacenamiento. A continuación, se explican los conceptos fundamentales de la tecnología de red OTN, en base a la descripción del sistema inicial, detallando los elementos incluidos para la prestación de los servicios de gestión de la propia red e integración del sistema de circuito cerrado de televisión diseñado exclusivamente para entornos campus. Al final de este documento, se termina detallando las características técnicas de implantación en cliente, donde se hizo uso de la red óptica OTN como plataforma multimedia o red de transporte “multiservicio”, y donde la alumna participó como ingeniera en la elección de los distintos módulos del sistema CCTV, redacción del presupuesto asociado al proyecto en cuestión y diseño de la arquitectura del diseño final, con multitud de características comunes y funcionalidades similares aunque con restricciones de seguridad mucho más amplias.

Capítulo 4. Presupuesto: En este capítulo se incluye un resumen del presupuesto necesario para el diseño del sistema, exponiendo los costes del personal que ha intervenido, duración de las fases, divididas en tareas y costes materiales necesarios para la realización del mismo del presente proyecto.

Capítulo 5. Conclusiones y Líneas Futuras: En este capítulo, se hace un repaso global al proyecto, presentando las conclusiones finales a partir del trabajo realizado. A continuación, se citan posibles trabajos o líneas futuras a partir del diseño industrial propuesto, con especial hincapié en la capacidad de posibles mejoras de diseño en el módulo de gestión de video y visualización del sistema CCTV, así como algún otro posible estudio técnico, a partir del trabajo presentado y documentos técnicos incluidos al final de esta memoria, ya que la red óptica OTN es compatible con multitud de estándares de comunicación y transmisión y permite diseños muy variados e integración de aplicaciones diversas, en función de los que se quiera diseñar y de los requisitos o necesidades del cliente.

Anexo A. Especificaciones Técnicas: Finalmente, se incluye un apéndice con la documentación técnica asociada tanto a los equipos electrónicos seleccionados como al conjunto de elementos necesarios para utilizar e integrar la aplicación de vídeo en red diseñada a un tipo de red OTN mucho más reducido con el fin de analizar las capacidades del producto. Algunas figuras de la arquitectura final son exclusivas de un documento técnico más general que aquí no se ha incluido y el cual se hará referencia a través de la etiqueta “especificación principal de red de transporte OTN”, proporcionada por la propia empresa donde la alumna realizó prácticas en empresa y recibió la formación básica y suficiente para el diseño de la plataforma de vídeo descrita en este trabajo.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1 Protocolos de Transporte Multimedia

En esta sección se describe las características generales de los protocolos de transporte de información multimedia sobre IP: RTP (*Real-time Transport Protocol*), RTCP (*RTP Control Protocol*) y RTSP (*Real-time Streaming Protocol*).

2.1.1 RTP

El protocolo RTP (*Real-time Transport Protocol*) [15], es un protocolo de transporte de uso extendido y cotidiano para el intercambio de recursos multimedia que funciona sobre UDP, y se utiliza en transmisiones de audio y vídeo en directo tradicionales, donde los parámetros de calidad de retardo o *jitter* (retraso o separación temporal entre paquetes de transmisión síncrona de audio y vídeo), no son tan exigentes como en el caso de las aplicaciones

interactivas en tiempo real, por ejemplo el servicio de VoD (*Video on Demand*) o la TDT. Es decir, RTP no dispone de ningún mecanismo propio de garantía de prestaciones de retardo o caudal, ni la entrega ordenada de los paquetes generados por la aplicación.

RTP está pensado para sistemas finales, de manera que permite asignar flujos independientes a cada flujo de señal, a partir de los flujos multimedia generados por la aplicación por separado. Por otro lado, cabe mencionar que RTP no proporciona ningún mecanismo para garantizar la entrega a tiempo de los datos de la aplicación multimedia, ni ninguna otra garantía de QoS, de hecho ni siquiera garantiza la entrega de paquetes ni evita la entrega de paquetes desordenados. Es decir, los *switches* de vídeo no diferencian entre los datagramas IP que transportan paquetes RTP y los que no.

RTP es un protocolo muy utilizado para comunicaciones multimedia, ya que permite gestionar posibles pérdidas realizando “buffering” antes de comenzar la representación, de manera que almacena los paquetes que le llegan y descarta los que llegan tarde. Es decir, evita el posible efecto de variación del retardo en los flujos multimedia generados por la aplicación, pero no proporciona garantías de prestaciones ni control de congestión, pero si gestión de pérdidas. La cabecera RTP normalmente tiene 12 bytes. El fragmento de audio junto con la cabecera RTP forma de este modo el paquete RTP. A nivel de aplicación, el paquete RTP se envía a la interfaz del “socket” UDP de la aplicación de audio y tiene el siguiente formato:

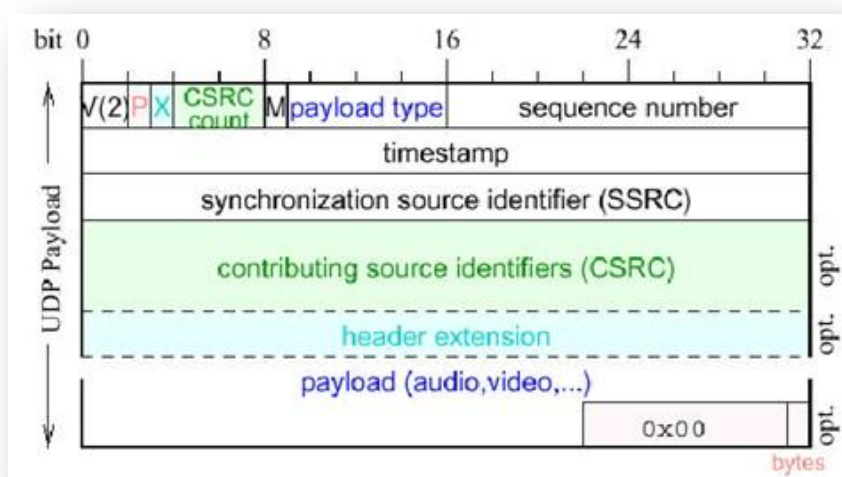


Figura 1: Estructura de paquete RTP (Ref. [15])

Cabe mencionar, que también existe una especificación donde se define el formato que debe tener un datagrama que transporte un paquete RTP compatible con el conjunto de estándares de codificación de objetos audiovisuales MPEG-4 [16] del IETF. La norma que referencia este perfil de uso concreto de RTP (flujos de audio y/o vídeo codificados con MPEG-4), es la RFC 3016 [17], lo cual parece tener algunas ventajas en cuanto a las velocidades de las interfaces de la red de transporte, a diferencia del funcionamiento normal del protocolo RTP. En resumen, se concluye que RTP presenta los siguientes beneficios:

- Permite identificar el tipo de información a transmitir.
- Permite agregar marcadores temporales y números de secuencia a la información transmitida.
- Permite controlar la llegada de los paquetes en el destino.
- Ofrece entrega de datos multicast de manera que los paquetes RTP no están limitados sólo para aplicaciones de unificación, un ejemplo podrían ser los sistemas P2P. En este trabajo, tal y como se detalla más adelante, el sistema de vídeo en red se apoyará de un modo de encaminamiento de tramas de vídeo multidifusión que además será compatible con el algoritmo PIM-SM [18] dada la capacidad de direccionamiento IP de los dispositivos y capacidad multicast de las cámaras de red.
- Permite trabajar con aplicaciones multimedia de red que utilicen los formatos PCM (64 Kbps), GSM (13 Kbps) y MP3 (tasas de 96 Kbps, 128 Kbps y 160 Kbps) [19], para el transporte de flujos de audio. Y para los flujos de video, flujos multimedia con los formatos de compresión MPEG-2 y H.264.

2.1.2 RTCP

RTCP (*RTP Control Protocol*) [20], es un protocolo de nivel 4 que una aplicación multimedia de red emplea junto con RTP, descrito anteriormente. A primera vista, su funcionamiento está pensado para escenarios donde cada entidad o participante de la sesión RTP transmite los paquetes por multidifusión IP al resto de entidades de la sesión multimedia.

En concreto, los paquetes RTP y RTCP se distinguen entre sí por medio del uso de distintos números de puerto, estableciendo el número de puerto RTCP al mismo valor que el asignado al puerto RTP más uno.

Es importante detallar que los paquetes RTCP no encapsulan fragmentos de audio ni de vídeo pues es un protocolo de control para aplicaciones multimedia que utilicen a nivel 4 el protocolo RTP descrito anteriormente. Por ejemplo, envío de paquetes periódicos con informes estadísticos del emisor y/o receptor que puedan ser útiles para la aplicación concreta.

Normalmente estas estadísticas suelen incluir parámetros de QoS como el número de paquetes enviados, el número de paquetes perdidos y la fluctuación entre dirección de correo electrónico del emisor, el nombre del mismo y la aplicación que es responsable de la generación de flujos RTP. En resumen, los paquetes RTCP son informes de recepción del receptor que se pueden concatenar en un mismo paquete con otros datos semejantes como pueden ser los informes del emisor y los descriptores del origen o fuente. A su vez, los paquetes resultantes se encapsulan en segmentos UDP que se re-envían entonces sobre el árbol de multidifusión construido por los equipos de encaminamientos existentes en la red. En nuestro caso es importante la mención y estudio de este protocolo ya que el hardware de red OTN utilizado para el diseño de la plataforma multimedia se caracteriza por el uso de tarjetas de interfaz con periodos de transmisión específicos para proporcionar un servicio de transporte continuo e interrumpido a través de la asignación de un ancho de banda fijo en la red OTN-X3M (ver Capítulo 3). Además, la documentación técnica de la tecnología de red deja como alternativa el encapsulamiento de las señales de vídeo digital a ambos protocolos de transporte del modelo OSI (UDP/TCP). Es decir, el funcionamiento interno y encapsulación de los datos de vídeo dependerá del tipo de equipos de la aplicación que se integran en el mismo y el número total de cámaras que se utilizan en la red “backbone”, aunque este sea ilimitado.

En cuanto a sus inconvenientes de uso, RTCP presenta un problema de escalado cuando el número de receptores presentes en el árbol de multidifusión es elevado ya que las entidades que utilicen este protocolo van a limitar su tráfico a un 5 por ciento el ancho de banda de la sesión, lo cual puede suponer un impedimento de uso. Por ejemplo, imaginemos el instante en que el operario que está en el puesto de control y gestión de vídeo desea tener una visión panorámica de toda la zona supervisada y envía una orden a todas las cámaras del de la aplicación de TV de circuito cerrado propuesta, dichas tramas se envían entonces desde el nodo de red donde se encuentra el equipo de gestión y control de vídeo y se re-enviarían sobre el árbol de multidifusión (gracias a la inclusión de los *switches* de vídeo con capacidad multicast en el interior del anillo óptico de la red OTN-X3M) a una velocidad de 622 Mbps.

Conceptualmente, RTCP intentaría limitar el tráfico de la siguiente manera: 75 por ciento (23.325 kbps) a los receptores y el 25 por ciento restante (7.775 kbps) al emisor. Por tanto, si hay doce cámaras, el **periodo de transmisión** de los **paquetes RTCP** para cualquiera de ellas sería el siguiente:

$$T = (\text{Nº de receptores} / 23.325.0.05.622 \text{ Mbps}). (\text{Tamaño medio de paquetes RTCP}).$$

Y cada una de ellas, podrá enviar tráfico RTCP a una velocidad de $23.325 / 12 \text{ kbps} = \mathbf{2 \text{ Mbps}}$.

2.1.3 RTSP

RTSP (*Real-Time Streaming Protocol*) [21], es el protocolo que sirve para que un usuario pueda controlar la reproducción multimedia procedente de un servidor, sino es imposible que ambos se entiendan y por tanto su uso es necesario para que ambos sean capaces de intercambiar información de control de la reproducción multimedia. Por ejemplo: pausar/reanudar, reposicionar la reproducción, avance rápido y rebobinado.

RTSP se caracteriza por hacer uso de un canal similar en muchos aspectos al canal de control de FTP, aunque los mensajes RTSP utilicen un número de puerto diferente (para la retransmisión de flujos multimedia, el número 544). Además existe otra diferencia destacable entre ellos relacionada con el envío de flujos multimedia, pues RTSP se considera que es un protocolo **fuera de banda** al enviar los mensajes fuera de banda, independientemente de que los flujos si se considera que se envíen “en banda”. Por otro lado, el soporte o compatibilidad de un equipo multimedia con el protocolo RTSP presenta una gran ventaja ya que se permite cualquier tipo de paquete. Es decir, su estructura no está definida lo cual facilita enormemente el diseño e integración de equipos multimedia en un sistema distribuido como el propuesto en este proyecto. Por ejemplo, el software de gestión de vídeo no tiene por qué utilizar el mismo tipo exacto de mensaje que el grabador de vídeo o DVR, solo necesita ser compatible con el protocolo RTSP para poder encaminar correctamente las tramas de vídeo.

En resumen, es importante conocer los conceptos básicos de dicho protocolo, ya que la red de paquetes que se trata de diseñar consiste básicamente en un conjunto de equipos con características de recepción y visión de vídeo en red específicas para la “videovigilancia”,

donde todos ellos se conectan entre sí para formar finalmente una red de transporte sobre Ethernet, en nuestro caso una red Ggb. Ethernet en la que cada equipo actúa funcionalmente como terminal cliente. Es decir, en realidad todos los dispositivos añadidos en el diseño (tanto para el procesamiento de datos, almacenamiento, grabación, control, visualización y monitorización) tendrán la capacidad de intercambiar datos mediante señalización digital, transmitiendo las diferentes tramas de control y datos mediante el uso de un medio guiado proporcionando de este modo la capacidad de transmitir la información en modo *full-duplex*.

Más adelante, se explica en qué consiste dicha técnica de señalización específica (ver siguiente sección) y cuáles son las tarjetas de interfaz necesarias para el funcionamiento de la lógica interna del sistema (Capítulo 3). Por último, cabe mencionar que en nuestro diseño concreto se ha optado por la provisión de un servicio de vídeo en red compatible con el protocolo de encaminamiento a nivel 3 PIM-SM [22], ya que esto reduce el ancho de banda o sobrecarga de los nodos de la red OTN, los cuales se encargaran funcionalmente de la entrega y orden de los distintos flujos de vídeo. Es decir, por un lado re-enviar las tramas hacia el puesto de control (módulo de gestión de vídeo y visualización) existente en el sistema, y por otro lado los mensajes de monitorización (mensajes del protocolo de gestión de red SNMPv3) que permiten la gestión de recursos de red. Al final de este capítulo se hace una breve reseña sobre el funcionamiento del mismo.

2.2 Protocolos para videoconferencia

En esta sección se comienza describiendo los principales estándares de señalización en transmisión de audio/vídeo en redes IP, necesarios para el establecimiento de una sesión multimedia. Estos son los siguientes: SIP y H.323, estandarizados ambos por los organismos del IETF y la ITU-T respectivamente.

Se ha creído conveniente detallar una explicación al respecto, ya que los elementos en el diseño presentan transportan información de audio y vídeo sobre IP, y ambos describen especificaciones para el establecimiento de sesiones multimedia en redes de conmutación de paquetes, de forma parecida al protocolo de señalización SS7. En concreto, SIP es posterior a H.323, pero ambos hacen posible el proceso de señalización para sesiones basadas en intercambio de información multimedia. En nuestro caso, tal y como se puede leer más adelante el sistema de vídeo en red se apoya de una red que utiliza estándares de

comunicación óptica pensados para redes de conmutación de paquetes, mientras que en H.323 o SIP (protocolo que se describe en la siguiente sección) se utilizan únicamente en redes telefónicas de conmutación de circuitos. Como mínimo es importante describir y citar los conceptos fundamentales de ambos protocolos, ya que ambos son estándares pensados para la transmisión igualmente entre dispositivos finales de Internet, generando a bajo nivel datagramas de audio/vídeo digitalizados. Otra diferencia importante entre nuestro diseño de uso de la red OTN como red de transporte abierta, es la compatibilidad con el estándar de compresión de audio/vídeo, pues son bien distintos según detalla la especificación de hardware OTN, incluida en el anexo adjunto a final de esta memoria.

En concreto, la integración de aplicación de TV de circuito cerrado y módulo de gestión y control de vídeo correspondiente, soporta el estándar de compresión G.703 a diferencia del protocolo H.323 que está pensado para comprimir la información con el estándar G. 711. Dicha diferencia, se piensa que se debe a que este primer tipo de estándares se utilizan con aplicaciones de mensajería instantánea o videoconferencia, con restricciones de codificación menores, con el único propósito de soportar el mismo estándar de compresión entre los dispositivos o puntos finales. Mientras que en nuestro caso, el sistema que se está intentando diseñar se caracteriza por necesitar un estándar de compresión de audio/vídeo lo más óptimo posible, pues sino no tendría sentido el uso de una red de tanta capacidad, independientemente del tipo de aplicación final de seguridad que se decida integrar. A continuación, se describe brevemente el protocolo homólogo a H.323, el cual también se utiliza para generar flujos digitales, aunque SIP tiene como base el protocolo de transporte RTP, no sobre RTP como lo hace el estándar H.323.

2.2.1 SIP

SIP (*Session Initiation Protocol*) [23], es un protocolo desarrollado por el IETF, pensado fundamentalmente para establecer sesiones multimedia sobre una red IP en tiempo real, donde intervienen elementos multimedia como voz, vídeo, etc. Se basa en una arquitectura “Cliente-Servidor”, y su sintaxis es muy parecida a la utilizada por el protocolo Web HTTP.

SIP hace uso del protocolo de descripción de sesión SDP, para definir y negociar los parámetros de la sesión multimedia (direcciones IP, puertos y *códecs* de audio o vídeo). Es decir, SIP es totalmente independiente del formato de la sesión establecida. Los elementos que aparecen en una sesión SIP, son los siguientes:

- **UA (User Agent):** Un usuario SIP usa la entidad UA (*User Agent*) para transmitir y recibir mensajes SIP. Existen dos tipos de agentes de usuarios: UA Cliente (UAC), envía peticiones SIP, y UA Servidor (UAS), genera respuestas SIP.
- **Servidor Proxy:** Un servidor del tipo Proxy, como su nombre indica, encamina peticiones SIP hacia la entidad UAS, o bien, respuestas SIP hacia la entidad UAC. El encaminamiento se hace salto a salto, de un servidor a otro, hasta alcanzar el destino.
- **Servidor Forking Proxy:** Este tipo de servidor permite establecer sesiones multimedia, con varios agentes de usuario, enviando las correspondientes peticiones SIP al mismo tiempo.
- **Servidor Redirect:** Un servidor del tipo Redirect, tiene un funcionamiento parecido al anterior, con la salvedad de que no procesa la llamada. Es decir no la encamina, sino que contesta a la petición con un mensaje de redirección, indicándole cómo contactar con el servidor destino.
- **Servidor B2BUA (Back to Back UA):** Este tipo de servidor se comporta simultáneamente como un UAS y un UAC al mismo tiempo, es decir toma el papel por un lado de una entidad UAS, generando respuestas SIP, y por otro lado como una entidad UAC, generando de este modo las peticiones SIP correspondientes.

SIP para proporcionar el establecimiento de sesiones multimedia sobre IP, utiliza unos métodos o mensajes específicos. Los mensajes más comunes, son los siguientes:

- **INVITE:** para crear una sesión, es decir, solicitar a un usuario el establecimiento de una sesión multimedia.
- **REGISTER:** utilizado por las entidades UAs para informar a un servidor del tipo “register” de la localización actual del usuario.
- **ACK:** utilizado por la entidad UA que originó el INVITE, para confirmar al servidor, que le envió la respuesta, que ha recibido la respuesta final al mismo
- **BYE:** Finaliza una sesión.
- **CANCEL:** El usuario que ha iniciado la sesión multimedia, finaliza la sesión, antes de establecerse por completo la sesión.

Por último, es importante tener en cuenta a nivel de aplicación que las respuestas en SIP, pueden ser de dos tipos bien distintos:

- 1) Respuestas provisionales (100-199): con confirmación del tipo **PRACK**.
- 2) Respuestas definitivas (200-699): con confirmación del tipo **ACK**.

En concreto, a este tipo de servidor se le llama REGISTER e utiliza una base de datos de localización con el objetivo de mantener una asociación entre la dirección pública y la dirección de contacto de cada usuario, donde se espera recibir futuras solicitudes. Es decir, un agente de usuario tendrá siempre dos direcciones: una dirección pública con formato del tipo host@dominio (conocido como URI- SIP) y una dirección de contacto a la cual se envía el contenido multimedia, tras el establecimiento de la sesión.

Además, cabe mencionar que SIP no es un protocolo que proporcione comunicación completa, sino que hace uso de otros protocolos: RSVP (para la reserva de recursos), SDP (para describir la sesión multimedia) y RTP/RTCP (para el transporte de la información multimedia). Funcionalmente, resulta un protocolo interesante de estudio pues el software cliente en el sistema CCTV (ver Capítulo 3), también hace uso del protocolo SDP con la excepción de que al ser puestos fijos el contenido de las cámaras IP y visualización del contenido multimedia se obtiene a partir de la dirección IP del dispositivo. Por otro lado, cabe destacar que el estándar por el cual es posible dicha transmisión de información, es un protocolo propietario del fabricante con un formato de tramas concreto y priorización de tráfico, el cual permite administrar mucho más fácilmente en términos de procesamiento, compresión y transmisión digital, debido al uso de la técnica de comunicación óptica SDH, en combinación con el tipo de fibra elegido, pues en este tipo de aplicaciones críticas se implantan en sistemas de seguridad en instalaciones industriales (central térmica o aeropuerto), con un hardware ya existente, formado por controladores PLC que permiten transformar la red cableada existente en una red informática para el intercambio de datos. Al final del Capítulo 3, se incluye una imagen que ilustra correctamente las distintas estructuras de tramas que circulan por una red OTN, en función de la tasa máxima de la red y/o diseño del sistema.

Y respecto a la identificación de usuarios presente en SIP, se observa que efectivamente en el caso de haber incluido algún elemento de audio o sistema de megafonía, se permitiría al módulo de administración o gestión de vídeo manejar direcciones únicas con el objetivo de identificar de manera unívoca, a los extremos o puntos finales de la sesión multimedia o elementos del sistema de vídeo en red o aplicación de TV en circuito cerrado que representa la aplicación de usuario central en la que se ha centrado este proyecto fin de carrera.

Más adelante se verá que el beneficio o prestación principal de utilizar la OTN como plataforma o infraestructura de red multimedia, se basa en la independencia del protocolo de transporte (UDP/TCP) pues dicha compatibilidad depende solo del tipo de equipos que se decidan incluir en la aplicación. Aun así el contenido y estructura de tramas que circulan por el

anillo siempre tendrá la misma estructura, por ejemplo si se decidiese incluir en el diseño algún elemento de audio, los flujos correspondientes se sustituirían igualmente por tramas como las descritas aunque con formatos diferentes (ver Sección 3.3).

2.2.2 H.323

Para poder realizar transmisiones multimedia en LANs basadas en IP, se desarrolló la familia de protocolos H.323 [24], basándose en los tres siguientes conceptos fundamentales:

- 1) El uso de **estándares existentes**.
- 2) Aprovechar las ventajas de las redes de **conmutación de paquetes** (eficiencia de la línea, gestión de paquetes almacenamiento temporal) para el transporte de voz y vídeo, entre nodos.
- 3) Conseguir la transmisión de información multimedia en tiempo real, mediante **redes compartidas**, esto es compartiendo las capacidades de transmisión de audio, vídeo y datos.

El estándar H.323 se utiliza principalmente en redes ATM y RDSI, funcionalmente está pensado para ofrecer servicios de videoconferencia en arquitecturas del tipo Ethernet, Token Ring o FDDI, aunque también existen soluciones en redes IP, por ejemplo el proveedor de servicios TAPI de Microsoft. Para el establecimiento de una sesión multimedia con H.323, se utilizan equipos terminales, muy parecidos a los que se utilizan en las videoconferencias tradicionales sobre una red RDSI (en este caso, terminales H.320). En concreto, este tipo de terminales H.323, implementan un único canal de audio y el resto son opcionales.

A diferencia de SIP, el estándar H.323 no proporciona una señalización adaptada para redes IP, pues está pensado para redes ATM y RDSI y su especificación es más compleja. Por ejemplo, SIP se caracteriza por codificar los mensajes en texto plano (generalmente HTTP) mientras H.323 lo hace en formato binario, basado en ASN.1. En resumen, la especificación H.323 estará presente cuando los equipos terminales de la red utilizan paquetes con estructura RTP.

2.3 Estándares de compresión de vídeo

En esta sección se describen los protocolos involucrados en el proceso de compresión de imágenes en movimiento y audio asociado, en tiempo real, incidiendo en los códecs de vídeo MPEG-2 y MPEG-4, ya que ambos estándares son compatibles. Por ejemplo, en el caso del equipo de gestión de vídeo incluido en el módulo de gestión de vídeo (puesto de control) el cual maneja vídeo en formato MPEG-2, aunque el sistema CCTV que se plantea está basado en el uso de grabación, codificación de secuencias y posterior distribución de flujos de vídeo MPEG-4 a través de segmentos de red IP con el objetivo por un lado de cumplir la compatibilidad de estándares de transmisión y comunicación del hardware OTN citados brevemente en este capítulo introductorio. Por ejemplo, el uso de una aplicación remota de monitorización. Y por otro lado aumentar las capacidades de reproducción y gestión del sistema resultante, esto quiere decir que se encamina el tráfico de forma fácil reduciendo los siguientes parámetros del sistema de vídeo: retardo total de distribución de vídeo y tiempo de generación de tramas a través del uso de conexiones internas multipunto a lo largo de la plataforma OTN. Estos dos últimos parámetros son los que determinan la tasa de transmisión de la red y por consiguiente el correcto funcionamiento de la plataforma. El distribuidor del hardware OTN denomina a estos dos parámetros con los siguientes acrónimos: RD (*Ring Delay*) y ADD (*Add-Drop Delay*).

2.3.1 H.264

H.264 es un estándar de compresión de vídeo de la ITU-T, también denominado MPEG-4 Parte 10/AVC [25] para codificación de vídeo avanzada, que es técnicamente idéntico al estándar de compresión H.264. De manera extendida el proceso de decodificación de imágenes que tiene lugar en el módulo software de gestión de vídeo es importante destacar que se realiza independientemente de la calidad de la imagen de origen emitidas por el nodo 1 donde se encuentra el codificador (en H.264, al tipo de divisiones que se realiza a las secuencias de vídeo, reciben el nombre de “macrobloques” cuyo tamaño depende de la cantidad de movimiento en el área vigilada) consiguiendo en ocasiones reducir el tamaño de un archivo digital en más de un 80%, en comparación con el estándar JPEG y hasta un 50% comparado con el estándar MPEG-4 Parte 2.

Esto significa que se requiere menos espacio de almacenamiento para los archivos de vídeo, logrando así una mayor calidad de imagen para una frecuencia de bits determinada. Por estas razones, su uso es muy común en sistemas de comunicación, en combinación con cámaras de red y cámaras con resolución megapíxel o HDTV, aunque en nuestro caso nos hemos decantado por una cámara **domo** válida para instalaciones de interiores o de exteriores, con capacidad de codificación y transmisión de secuencias de vídeo digital codificadas con el estándar de compresión H.264.

En H.264 existen siete **perfiles**, destinado cada uno de ellos a un tipo distinto de aplicaciones, y once **niveles** o grados de capacidad en función de los valores de rendimiento, ancho de banda y memoria requeridos por el sistema, de tal manera que cada nivel define la frecuencia de bits y la frecuencia de codificación en macrobloques por segundo, para resoluciones que van de QCIF a HDTV. Es decir, cuanto mayor es la **resolución**, mayor es el nivel requerido. Normalmente, cuando el sistema incluye cámaras de red, se suele utilizar el perfil denominado “base” H.264.

Este perfil de compresión de datos, está destinado a aplicaciones con recursos informáticos limitados y dependiendo del perfil que se utilice en el equipo, un codificador H.264 puede utilizar diferentes tipos de fotogramas o imágenes estáticas: fotogramas I (imagen autónoma que se codifica de forma independiente o primera imagen de una secuencia de vídeo), fotogramas P (partes de fotogramas I, que requieren menos bits que los anteriores) y fotogramas B (hacen referencia tanto a fotogramas anteriores como posteriores). En el caso del perfil “base” de H.264, sólo se utilizan fotogramas I y P. Este perfil resulta ideal para cámaras de red y codificadores de vídeo, ya que la latencia se reduce gracias a la ausencia de fotogramas B.

Cabe mencionar que H.264 es considerado como una tecnología muy eficiente de compresión de vídeo, entre otras razones porque permite codificar los fotogramas I, generando así menos defectos en la secuencia final de vídeo. Esto se realiza mediante un esquema de **predicción interna**, permitiendo la predicción sucesiva de bloques de píxeles más pequeños dentro de un “macrobloque” de un fotograma, codificando internamente bloques de 4x4 píxeles y reduciendo enormemente el tamaño en bits del archivo a transmitir. Además

de la capacidad descrita de obtener una imagen de salida de menor tamaño, con la misma calidad que otros estándares de compresión como por ejemplo Motion JPEG. En resumen, H.264 es considerado como una tecnología muy avanzada de compresión de vídeo, pues proporciona precisión inferior a un píxel en fotogramas del tipo P y B, evitando de este modo los típicos defectos pixelados que suelen aparecer en el caso de vídeo comprimido con los estándares Motion JPEG y MPEG (consultar anexo).

En resumen, tal y como se verá más adelante, la aplicación de circuito cerrado de TV o CCTV, tendrá la funcionalidad añadida de vídeo inteligente, mediante la inclusión de cámaras de red con funcionalidad de gestión de eventos y vídeo inteligente. Este tipo de solución de vídeo en red es muy común cuando se quiere utilizar por un lado **resolución** del tipo **HDTV** o **megapíxel**, y por otro lado cuando se quiere que las cámaras que capturan el vídeo en el área vigilada en cuestión, sean capaces de detectar posibles movimientos en dicha zona (Capítulo 3).

2.3.2 H.263

El estándar de compresión de video MPEG-4 Parte 2, también conocido como H.263 [26], es un estándar de compresión de vídeo definido por la ITU-T. Es anterior al estándar de compresión H.264 (o MPEG-4 Parte 10), y está pensado fundamentalmente para proporcionar mayor eficiencia y calidad de vídeo en servicios interactivos. En concreto, es compatible con los siguientes estándares de compresión de información multimedia:

- **H.342:** Red PSTN y otras redes de con servicios de videoconferencia y/o videotelefonía.
- **H.342:** Red PSTN y otras redes de con servicios de videoconferencia y/o videotelefonía.
- **H.323:** Sistema de videoconferencia basado en RTP/IP.
- **H.320:** Sistema de videoconferencia en redes ISDN.

Además de las aplicaciones anteriores, el estándar MPEG-4 Parte 2 (o H.323), se utiliza en los siguientes sistemas multimedia de comunicación móvil: IMS (Plataforma de servicios multimedia IP), MMS (Servicio de mensajes multimedia) y PSS (Servicio de *streaming* en redes de conmutación de paquetes).

2.4 Calidad de servicio

2.4.1 Introducción

En esta sección se describe el sistema de transmisión digital síncrono SDH, normalizado por la ITU-T, necesario para la sincronización de la red óptica OTN, pues la aplicación multimedia o servicio CCTV proporcionado por dicha red, requiere la transmisión síncrona de señales digitales de manera que los nodos de dicha red reciben los paquetes en orden, y en función del estado de la red, deciden almacenarlos temporalmente o insertarlos a nivel de trama STM, en el anillo lógico disponible (consultar anexo A).

Es decir, las cámaras de red envían el vídeo capturado a los nodos, y estos reciben el vídeo digitalizado y lo retransmiten por la red óptica OTN, pasando por un switch Ggb. Ethernet para la interconexión de la LAN entre un par de nodos. En concreto, TDM (*Time Division Multiplexing*) es un mecanismo de multiplexación de señales digitales en el dominio del tiempo, que permite la atribución de los distintos flujos en *Time-Slots* independientes, optimizando así la transmisión de vídeo en tiempo real, desde el puesto de control. Es decir, es similar al tipo de servicio interactivo VoD (*Video on Demand*), donde se requieren también redes de paquetes muy rápidas.

2.4.2 SDH / Sonet

Cuando se dispone de un cableado de fibra entre dos encaminadores con interfaces PoE, estos se pueden conectar directamente a nivel 3, o bien pueden conectarse formando una red óptica de nivel 1 con topología habitualmente de doble anillo, estableciendo así circuitos virtuales entre los nodos o elementos de dicha arquitectura de red. En nuestro caso, la red óptica de transporte OTN622-X3M, es capaz de ofrecer el servicio de gestión de red o monitorización, e integración de la aplicación de “videovigilancia” o sistema CCTV, utilizando para ello el sistema de transmisión SDH transmitiendo de este modo tramas STM-4, consultar Capítulo 4.

Este tipo de redes ópticas síncronas Sonet (*Synchronous Optical Networking*) o SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) están estandarizadas por el ANSI y por el ITU-T (Rec. G.700 y G.652) respectivamente y son compatibles. Ambas hacen uso de la técnica MIC (Modulación por Impulsos Codificados) para la transformación (muestreo, cuantificación y codificación) de

las señales analógicas en digitales. Además, al ser protocolos de nivel 1, permiten intercambiar datos sobre fibra óptica (LED o Láser), haciendo uso de la técnica TDM (*Time Digital Multiplex.*) la cual se describe más adelante en qué consiste.

Es importante tener en cuenta que en una red óptica como la nuestra internamente existen distintos **niveles de multiplexación** y **niveles de señal**. Los niveles de multiplexación se designan Vcn (Contenedor Virtual de nivel n), siendo cada VC un tributario, complementado con una cabecera de trayecto POH. Es decir, los niveles de señal o VCs se sitúan en el ámbito de señal, complementados con una cabecera de señal SOH. Y finalmente la señal se designa como STM-N (Módulo de Transporte Síncrono de nivel N). La siguiente tabla muestra las distintas jerarquías o niveles síncronos más relevantes:

Jerarquía	Velocidad Total (Mbps)	Velocidad Útil (Mbps)	Circuitos
E-1	2,048	1,92	30
E-2	8,448	7,68	120
E-3	34,368	30,72	480
E-4	139,264	122,88	1.920
STM-1	155,52	150,336	2.349
STM-4	622,08	601,344	9.396
STM-16	2.488,32	2.405,38	37.584
STM-64	9.953,28	9.621,50	150.336

Tabla 1: Estándar de Transmisión Digital Síncrona SDH (Ref. [2])

Es decir, el estándar SDH garantiza la compatibilidad de manera que cada trama está compuesta por cuatro de las anteriores. Una trama STM4 lleva cuatro tramas STM-1, y una trama STM-1 puede llevar 3 E3 o 1 E3 y 32 E1. En concreto, en una red SDH existen los siguientes elementos de red:

- **Terminales TM (Terminal Multiplexer):** se encargan de la multiplexación de los niveles de más baja capacidad, en un nivel de jerarquía síncrona igual o superior. Es decir, un tributario puede situarse en una posición lógica u otra.
- **Multiplexadores ADM (Add/Drop Multiplexer):** Insertan y extraen las señales con capacidad más baja, hacia y desde un nivel de jerarquía síncrona igual o superior. Es decir, un tributario puede situarse en una posición lógica opcional y en dirección opcional. Estos elementos se utilizan para crear topologías en anillo, bus o árbol.
- **Multiplexadores DXC (Digital Cross Connect):** son elementos de red para administración y protección de la línea de transmisión. El término Digital Cross hace referencia a que la conexión la establece el operador de la red y no el usuario, por tiempos fijos de días o semanas. A nivel electrónico, son grandes matrices que reorganizan el tráfico.

En resumen, el objetivo de las redes SDH sobre fibra óptica, no es otro que disponer de una red de transmisión con interfaces normalizadas, gestión eficaz de la red y fácil integración para los servicios de banda ancha. En nuestro caso, al tratarse de una red 622-X3M, el tipo de tramas que contienen los datos de la aplicación de CCTV integrada, son tramas de información del tipo STM-4, en nomenclatura SONET, conexiones ópticas del tipo OC-12c (consultar CD).

2.4.3 TDM

La comunicación entre los nodos de la red OTN622-X3M incluidos en el anillo óptico del diseño de red del proyecto presente, se basa en la técnica de multiplexación por división en el tiempo TDM (*Time Division Multiplexing*) estandarizada por la ITU-T, la cual permite que distintos usuarios compartan el mismo medio de transmisión en el anillo, en nuestro caso dos fibras. En esta sección se describe cuáles son las condiciones para poder aplicar dicha técnica, sobre la señal digital que se transmite, y cuál es su funcionamiento conceptualmente: división de segmentos de tiempo para las aplicaciones y transmisión de tramas.

El mecanismo de TDM hace uso de las tecnologías ópticas de sincronización de bits descritas en la sección anterior, consiguiendo dividir de este modo el dominio del tiempo en periodos repetitivos denominados **tramas**, que a su vez se subdividen en segmentos de tiempo más pequeños. Este proceso de mezcla de grupos de bits puede realizarse a nivel de bit, o bien, en **bloques de bytes** e incluso en cantidades superiores.

En todos los casos, el resultado es el mismo: transmisión de varias señales digitales mediante una única ruta de transmisión. En la siguiente figura se puede ver un ejemplo clave, en el cual se multiplexan seis señales de entrada (de 9.6 kbps cada una) en una única línea de 57.6 kbps de capacidad de transmisión.

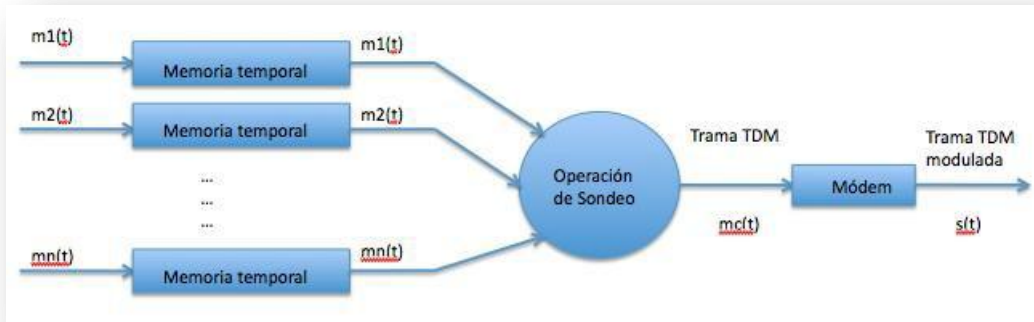


Figura 2: Ejemplo de generación de trama TDM (Ref. [2])

En particular, en la figura anterior se puede observar cómo los datos de entrada (procedentes de cada fuente) se almacenan temporalmente en una memoria o buffer de tal manera que dichas memorias temporales se sondean a nivel de bit para componer finalmente la secuencia digital o trama TDM a transmitir en la red óptica OTN.

2.5 Monitorización en redes OTN

2.5.1 Introducción

En el diseño del sistema de vídeo en red propuesto, los dispositivos de la aplicación de vídeo sobre IP transmiten el vídeo a una red óptica de transporte OTN (ver Capítulo 4) utilizando las interfaces Ethernet de los nodos, encapsulando así las secuencias de vídeo capturadas por las cámaras en paquetes IP, en combinación con un módulo de gestión de vídeo y visualización del vídeo capturado por las cámaras.

Además, se complementa con un módulo de almacenamiento distribuido de imágenes de vídeo, el cual proporciona la funcionalidad de grabación, reproducción, y visualización de imágenes de vídeo simultáneas, junto a un codificador de vídeo que comprime las imágenes de vídeo capturadas procedentes de las cámaras. Todos estos dispositivos, se conectan a la red OTN mediante tecnología IP a los puertos Ethernet presentes en los nodos de red, de manera que parece interesante la integración de un módulo de gestión o administración de la propia red, manteniendo así un informe detallado de los diferentes dispositivos conectados y el estado concreto de las distintas conexiones de red, pues no todas las interfaces de red son iguales no proporcionan el mismo tipo de servicio, tal y como se detalla más adelante.

Por ejemplo, las cámaras de red pertenecientes al sistema CCTV se segmentan en redes LAN punto a punto a los dispositivos o nodos OTN, y esto a su vez establecen conexiones lógicas multipunto (uso de tarjetas de interfaz serie RSXMM) formando de este modo redes LAN con capacidad de encaminamiento multicast. En concreto los datos y el vídeo utilizan finalmente un tipo de transmisión a nivel 2 con velocidad máxima de 784 Mbps y encaminamiento de la información mediante el uso de *switches* de vídeo compatibles con el protocolo PIM-SM, donde el equipo N42C viene a ser el RP del árbol de distribución lógico del anillo óptico, y el resto de elementos se conectan mediante enlaces directos a los puertos serie de los nodos de red.

Y cada una tendrá sus errores, pues no todas los paquetes van a seguir el mismo camino, en el sentido en que los nodos OTN reservan los enlaces lógicos por donde se transmiten las tramas TDM. Es decir, cada trama STM que circula por la red se trata de forma independiente, de manera que se quiere tener un módulo que indique cómo la red gestiona las distintas secuencias de paquetes, y como se encaminan, pues la red de transporte propuesta se caracteriza por una configuración de doble anillo lógica y física, en el sentido en que siempre existirá un camino óptico de reserva ante posibles caídas de alguno de los elementos que componen la red. En cualquier caso, dado que no todos los elementos del sistema CCTV se encuentran en la misma red, se decide añadir un servicio de gestión de red integrada (en concreto con la solución propietaria del fabricante OTN-Systems), la cual es compatible con el protocolo de gestión de red pregunta-respuesta SNMPv3 [27] el cual se detalla más adelante, permitiendo de este modo la presentación del estado actual de los nodos de red, notificación de posibles anomalías en la red, y reconfiguración de la propia red.

A continuación, se explican las características fundamentales de dicho protocolo de administración de red, pues el objetivo del sistema resultante es proporcionar la velocidad teórica de transferencia máxima de 622 Mbps e integración de los distintos elementos del sistema CCTV y gestión de conexiones de la red OTN, retransmisión de alarmas desde el PC que tiene el software de gestión de la red óptica o plataforma OTN, pues la ventaja fundamental de uso de esta tecnología y fabricante de equipos específicos de red, se basa fundamentalmente es que permite construir sistemas de comunicaciones muy seguros. En concreto, un sistema de gestión de red abarca desde la funcionalidad de la gestión de **cuentas** hasta la gestión de la **seguridad**.

En el primer caso, se permite a los administradores de la red en cuestión especificar, registrar y controlar el acceso de los usuarios y de los dispositivos a los recursos de la red. Algunos ejemplos de uso son la facturación basada en el uso, la obtención de cuotas de uso (informes detallados del estado de los dispositivos de la red) y también la asignación de

privilegios o permisos de acceso a los recursos distribuidos por toda la red, con el fin de asegurarse que los distintos componentes hardware operan sin ningún problema. Sin embargo, el segundo caso de gestión de la seguridad, se caracteriza por controlar el acceso a los recursos de red bajo alguna política bien definida.

Es decir, en este caso se requieren centros de distribución de claves para el control de usuarios que acceden a la red, junto al uso de *firewalls*, los cuales permiten a los administradores monitorizar y controlar posibles puntos de acceso a la red en cuestión, pues estos son componentes software donde se define la política que se quiere establecer con el fin de proteger la red. Para facilitar ambas funciones, en la práctica se define una arquitectura de gestión de red genérica, el escenario es el siguiente:

- 1) **Entidad gestora (Gestor):** aplicación que se ejecuta en una estación central de gestión de red, situada normalmente en un centro de operaciones de red o NOC (*Network Operation Centre*). Representa el punto focal de la actividad de administración de red, pues desde aquí se procesan datos para el análisis y visualización de la información de gestión de la red, con el fin de controlar el comportamiento de la red. En concreto, el administrador que utiliza la aplicación interactúa con los distintos elementos que forman la red. En nuestro caso, para que no haya ningún problema de incompatibilidades con el *firmware* y licencias del software de gestión de red, se opta por una solución propietaria. Es decir, al utilizar la red óptica OTN como plataforma multimedia y red de transporte para la integración de un pequeño sistema CCTV con tarjetas de interfaces de red poco comunes y nodos de red muy específicos, se opta por una solución propietaria cuando lo más lógico quizás habría sido incluir una aplicación de control del mismo fabricante que los *switches* de vídeo, los cuales permiten realizar la integración de la aplicación o pequeño sistema CCTV (ver Capítulo 3), mediante conexiones serie RS-232 y Ggb. Ethernet.
- 2) **Dispositivo gestionado:** equipo o elemento de red (incluyendo su software, por ejemplo en nuestro diseño el equipo servidor de gestión de video que controla las cámaras IP y resto de elementos de la LAN del sistema CCTV, es un elemento gestionado por el administrador de red que utiliza la entidad gestora comentada anteriormente). Para una gestión precisa y configuración del dispositivo, se definen y almacenan en una base de datos, objetos gestionados asociados con los propios elementos hardware contenidos en el dispositivo en cuestión. Por ejemplo, un protocolo de recepción en los nodos de la red de fibra en modo multicast de los distintos flujos de información multimedia, o bien, un protocolo de monitorización del estado de todas las trayectorias, pues los dispositivos de

almacenamiento y grabación comparten las mismas conexiones para el envío simultáneo del vídeo a los nodos de red. Más adelante, se explica cómo se asignan valores a esta base de datos y demás términos en detalle, pues para la configuración del modelo de control de acceso se utiliza un lenguaje muy específico, con el fin de que el elemento gestionado proporcione una interfaz sencilla entre el gestor y los dispositivos físicos gestionados.

- 3) **Agente:** ubicado en los dispositivos gestionados de la red. Su objetivo principal consiste en ofrecer una interfaz de acceso a la entidad gestora con los distintos valores o parámetros de configuración que se definan (esto depende del fabricante que lo proporciona) accesibles por la entidad gestora, es necesario que en cada dispositivo resida también un agente de gestión de red. Esto es, un proceso que se ejecuta en el dispositivo y que se comunica con la entidad gestora, llevando a cabo acciones locales en el dispositivo gestionado bajo control de la entidad gestora.
- 4) **Protocolo de gestión de red:** protocolo que se ejecuta entre la entidad gestora, descrita anteriormente, y los dispositivos gestionados con el fin de consultar el estado de los dispositivos gestionados y al mismo tiempo llevar a cabo acciones de manera indirecta en los dispositivos a través de sus agentes. Es decir, los agentes utilizan el protocolo de gestión de red para informar a la entidad gestora de la ocurrencia de sucesos excepcionales. Por ejemplo, un fallo del componente físico de la red en cuestión, lo cual en nuestro caso es posible gracias a la configuración del módulo OMS (*OTN Management Server*) con posibilidad de envío de notificaciones antes anomalías extrañas en el funcionamiento de la red y que el administrador puede utilizar para ser capaz de este modo de gestionar la red, con tareas como pueden ser: monitorizar, probar, sondear, configurar, analizar, evaluar y controlar.

Además de las entidades anteriores, en cualquier sistema de gestión de red para el aprovisionamiento de un servicio de monitorización se requiere una base de información de administración de manera que los dispositivos que componen la red tengan asociados distintos elementos de información que se recopilan de este modo en una base de datos. A este componente software se le denomina en el campo de gestión de red MIB (*Management Information Base*), y contiene toda la información correspondiente a las interfaces de red del escenario de monitorización.

2.5.2 SNMP

Un segundo elemento importante que también se ha tenido en cuenta en este diseño (aparte del uso de nodos de red compatibles con los mecanismos de sincronización Sonet/SDH y modo de comunicación determinista sobre IP ya descrito, ha consistido en la funcionalidad añadida de un equipo de gestión de red o monitorización de interfaces mediante el protocolo de gestión de red SNMP (*Simple Network Management Protocol*), el cual fue creado exactamente para dicha funcionalidad: para resolver los problemas de administración de redes TCP/IP.

En concreto el estándar SNMP se creó a finales de la década de los 80 por el IAB (*Internet Activities Board*), principalmente para resolver los problemas de gestión en Internet. En concreto, se definió para entornos de administración de red y se fijó para ello un conjunto de protocolos estándar, los cuales permitían gestionar los procesos de administración de las redes.

El protocolo de monitorización SNMP nace a partir de otra definición anterior conocida como SGMP (*Simple Gateway Monitoring Protocol*) en la RFC 1028 [28], el cual se definió como una solución temporal, pues pronto fue sustituido e implantado el protocolo de gestión de red SNMP, en la RFC 1098 [29]. Es importante destacar, que SNMP se basa en el modelo “Gestor-Agente”, el cual consiste en un gestor, un agente, una base de datos con la información de gestión (objetos gestionados) y el protocolo de gestión de red.

A modo de resumen, se puede describir de la siguiente manera: el gestor proporciona una interfaz entre el administrador de red (una persona), y el sistema o equipo de gestión. En cambio, el agente (alojado en un dispositivo gestionado) se encarga de proporcionar una interfaz común entre el gestor y los dispositivos físicos de la red.

El estándar SNMP fue creado para el diseño de entornos de gestión de red y ha alcanzado un gran uso en el campo de control de accesos y administración de redes por su simplicidad y facilidad de uso, lo que hace a dicho estándar por ejemplo muy adecuado para la gestión de dispositivos con capacidad de procesamiento limitada. Sin embargo tiene el inconveniente de generar una gran cantidad de tráfico, aumentando así las necesidades del ancho de banda y degradando los tiempos de respuesta de las redes, por lo que se requieren equipos potentes como los propuesto en nuestro diseño de vídeo en red, que sean capaces de centralizar el acceso a los dispositivos gestionados y por consiguiente el intercambio de información con los distintos agentes o elementos gestionados.

Es decir, es necesario el uso de dos estaciones de trabajo mediante el uso de un modelo “Gestor-Agente”, tal y como ya se ha comentado. De manera general, un módulo de gestión de red tiene una arquitectura hardware que está compuesta por los dos siguientes elementos:

- 1) **Equipo de gestión:** equipo con las funcionalidades descritas que realiza un gestor en una arquitectura de gestión de red, en particular es la entidad o actor de nuestro sistema que ofrece la posibilidad de visualizar y controlar el estado de cualquier cámara y resto de dispositivos gestionados, con la ayuda de un monitor y/o teclado (ver Capítulo 3) para la modificación de variables de estado que se requieran en el escenario concreto. Además, este tipo de sistemas software proporcionan una base de datos con la información de gestión, de manera que el administrador tenga la posibilidad de controlar cualquier parámetro de acuerdo con las directrices de la instalación cliente de la red ante determinados eventos.
- 2) **Equipo gestionado:** se define como un equipo de red (incluyendo su software) que forma parte de una red gestionada. Y dentro de un dispositivo gestionado pueden existir distintos objetos gestionados, los cuales son los propios elementos hardware contenidos en el dispositivo gestionado. Por ejemplo, una tarjeta de interfaz de red.

2.5.3 SNMP v3

El estándar SNMP se modificó a una versión más reciente en la RFC 3410, lanzada en abril de 1999 y actualizada en diciembre de 2002 como SNMPv3 [30]. Este estándar fue creado igualmente para resolver los problemas de administración de redes TCP/IP pero en este caso las decisiones de diseño de dicho estándar se centraron en aspectos relacionados con la seguridad de la red que se quiere monitorizar. Esto quiere decir que un sistema de comunicaciones que añade además la funcionalidad añadida de proporcionar un entorno de control, no solo de monitorización de la arquitectura subyacente, es debido a la necesidad de tener un control total de cómo actúan los dispositivos o equipos que componen la totalidad del sistema.

Además, en nuestro caso de red de distribución OTN resulta interesante la compatibilidad con esta última versión puesto que SNMP funciona normalmente a través de operaciones de procesamiento y modificación de parámetros concretos asociados a la solución software apropiada y debido a que en el área de “videovigilancia”, como es nuestro caso, se dan aspectos e incluso se generan normativas asociadas a la implantación de este tipo de equipos y medios físicos, decidimos por tanto que añadir un módulo software que de manera adicional sea capaz de interceptar cualquier acceso al sistema que se presenta más adelante, puede proporcionar una infraestructura muy apropiada a la hora de querer no sólo monitorizar, sino también controlar el estado de los dispositivos físicos existentes en el diseño de vídeo en red propuesto en este proyecto.

En particular este estándar proporciona un modelo de seguridad basado en el usuario el cual se diseñó en base a los siguientes aspectos del campo de la seguridad de la información o protección de datos:

- **Cifrado:** las PDU que intercambian las entidades de SNMP se cifran utilizando el estándar DES, el cual se basa en un sistema de clave compartida, proporcionando de este modo privacidad de los datos mediante el modo de resolución de claves CBC.

- **Autenticación:** con el objetivo de tomar medidas frente a posibles falsificaciones, las entidades de SNMP utilizan la técnica MAC como mecanismos de protección, compartiendo ambas una misma clave secreta.
- **Integridad:** en SNMPv3 con el fin de mantener los mismos datos exactos que se intercambian y para asegurarse que los actores que manejan el software de monitorización (gestor y agente) del sistema son los únicos autorizados a acceder a la información o PDU que se intercambian, se toman medidas de protección relacionadas con posibles ataques de reproducción de datos. Para ello, los diseñadores describieron toda una recomendación informativa al respecto, la cual está relacionada con el sistema de procesamiento de mensajes SNMP.
- **Control de acceso:** como última ventaja de uso del estándar SNMPv3 en la aplicación software subyacente de monitorización, se sabe que el equipo que lo utiliza tiene la capacidad añadida de poder controlar el acceso no autorizado mediante un modo de consulta basado en vistas de manera que las políticas o privilegios del sistema dependen de un almacén de datos de configuración compatible con el estándar de definición MIB-II [31], el cual es independiente del fabricante.

En particular, se recomienda el uso de un software de gestión de red que suponga una solución fácil de integrar en la plataforma OTN, ya que es la red de distribución mediante la cual es posible acoplar los distintos equipos del sistema de vídeo en red descrito más adelante, permitiendo de este modo el cifrado o protección de los mensajes intercambiados entre las entidades SNMP ligadas a los equipos del módulo de gestión de red.

Por último, el objetivo de la decisión de diseño de añadir un equipo de gestión de red o monitorización se ha basado en la idea de facilitar una funcionalidad de envío de información sobre notificaciones desde el equipo que tiene el rol de agente al equipo gestor, como consecuencia de un evento importante en el sistema y se cree que abordar este nuevo servicio de administración puede resultar muy interesante.

Capítulo 3

Diseño del Sistema

3.1 Funciones del sistema

3.1.1 Descripción general

Los sistemas de seguridad o más comúnmente sistemas de “videovigilancia”, se distinguen de otros tipos de redes de telecomunicaciones porque son capaces de asegurar el control de áreas públicas (como es nuestro caso) o restringidas dependiendo del entorno de aplicación concreto, mediante la inclusión de cámaras de última tecnología en aspectos de resolución o visualización del escenario.

Estos sistemas, se basan en estándares libres e interoperativos, de manera que los distintos dispositivos proveen un sistema de grabación de imágenes, a través de un sistema estandarizado de transmisión digital, facilitando de este modo el análisis de imágenes y detección de posibles movimientos de forma distribuida. A nivel de aplicación, el objetivo de cualquier software de los estos sistemas es asegurar un modo de utilización eficiente de la infraestructura correspondiente, reduciendo y mejorando aspectos como pueden ser comportamientos no habituales (por ejemplo, accesos no permitidos), tanto en áreas de interiores como en exteriores. Esto es posible, gracias a que dichos sistemas utilizan estándares de compresión universalmente aceptados, como los estándares JPEG, MPEG-2, MPEG-4 o H.264, lo cual supone un gran ahorro en ancho de banda y almacenamiento. Normalmente, estos sistemas aparecen integrados con otros sistemas, como por ejemplo, sistemas de gestión de edificios basados en IP o soluciones industriales y logísticas.

Por otro lado, los sistemas CCTV que utilizan dispositivos compatibles con la tecnología de transmisión síncrona SDH a través de fibra óptica (ya sea con la técnica DWDM haciendo uso de FDM, o bien la técnica TDM estadística, correspondiente a TDM) a diferencia de los sistemas tradicionales CCTV analógicos, cabe mencionar que en la práctica los sistemas de vídeo en red (combinación de TDM con IP), resultan ser una buena solución ya que facilitan aspectos como puede ser la movilidad de las cámaras (principales elementos para condiciones de velocidad o almacenamiento fijas), mediante la integración de software de gestión y de manera opcional monitorización de la red de seguridad.

Es decir, también encontraremos en este tipo de redes dispositivos compatibles con los protocolos tradicionales para transmisión de contenido multimedia en otras aplicaciones. En este trabajo, se ha confiado en la compatibilidad del hardware con los siguientes protocolos de Internet: DHCP, ICMP, IPv4, IPv6, SNMP, SNMPv2 y SNMPv3.

En nuestro caso, el diseño del sistema de vídeo en red propuesto se caracteriza por proporcionar la visualización del vídeo en directo y calidad óptima de las imágenes capturadas, haciendo uso por un lado de codificadores de vídeo H.264/MPEG-4 Parte 10 (estándar más reciente de compresión de vídeo), los cuales permiten mantener la calidad de las imágenes capturadas, comprimiendo la señal de vídeo bastante más, de manera que es posible la transmisión de vídeo en directo al estilo del sistema de *streaming* VoD.

Es decir, estos sistemas generalmente incluyen un puesto de control o módulo de gestión de vídeo y visualización, desde el cual se gestionan las cámaras mediante software de gestión de vídeo (con un PC servidor y de manera opcional un dispositivo VMS) y pantallas o *VideoWall* donde se muestra el vídeo capturado (información en tiempo real), haciendo uso de técnicas de barrido progresivo o resolución megapíxel, como en el caso del servicio multimedia de televisión de alta definición HDTV, proporcionando así soporte con los sistemas de codificación NTSC (en EEUU) y PAL (en Europa).

Además, estos sistemas se caracterizan por incluir un módulo de almacenamiento de las secuencias de vídeo capturadas por las cámaras, de manera que es posible la visualización de imágenes de vídeo capturadas en un instante anterior. En nuestro caso, debido a que hemos incluido un elevado número de cámaras (que equivalen a 12 conexiones), y con el objetivo de que en el PC del módulo de gestión de vídeo sea posible la reproducción continua de las imágenes de vídeo, hemos incluido un módulo de grabación de vídeo digital o DVR.

Por otro lado, debido a que hemos incluido un elevado número de cámaras (que equivalen a 12 conexiones), y con el objetivo de que en el PC del módulo de gestión de vídeo sea posible la reproducción de una secuencia de vídeo de un instante anterior, se propone el uso de un módulo de almacenamiento distribuido, que permite la grabación, reproducción y visualización de imágenes de vídeo simultáneas.

En esta sección, se describen los elementos correspondientes a la red o sistema de seguridad CCTV, en base a las condiciones técnicas descritas en el Capítulo 1, ofreciendo así una solución integrada de vídeo en red, teniendo en cuenta que dicha red CCTV hace uso de las ventajas de configuración que caracterizan a la tecnología de red óptica de transporte OTN: calidad de imagen, compresión de vídeo IP digitalizado, facilidad de gestión de red, disponibilidad ininterrumpida de la red *backbone* de comunicación, disponibilidad óptica de las tramas sin retardos excesivos en recepción y capacidad de transmisión concatenada STM-4 con un coste efectivo de los recursos empleados.

Con el objetivo de tener una idea global de cómo se integran los diferentes equipos y sus características técnicas específicas del diseño propuesto, se presentan a continuación un conjunto de tablas donde se puede ver el tipo de interfaces necesarias, modelos específicos y fabricantes seleccionados, para el correcto funcionamiento del sistema de comunicaciones propuesto. Además, cabe mencionar que la justificación de cada uno de los componentes que conlleva el diseño del sistema, se trata más adelante en la sección correspondiente (Requisitos del Sistema).

	Modelo	Tecnología	Nº de Puertos
Tarjetas de interfaz serie	RSXMM	RS-232	2
Tarjetas de interfaz ethernet	ET100AE	100Base-T	2
Tarjetas de lógica común	BORA-622-X3M	SDH/Sonet	1
TOTAL			5

Tabla 2: Elementos del nodo 1, OTN-X3M-N415

	Modelo	Tecnología	Nº de Puertos
Tarjetas de interfaz serie	RSXMM	RS-232	1
Tarjetas de interfaz ethernet	ET100AE	100Base-T	2
Tarjetas de lógica común	BORA-622-X3M	SDH/Sonet	1
TOTAL			4

Tabla 3: Elementos del nodo 2, OTN-X3M-N415

	Modelo	Tecnología	Nº de Puertos
Tarjetas de interfaz serie	RSXMM	RS-232	2
Tarjetas de interfaz ethernet	ET100AE	100Base-T	4
Tarjetas de lógica común	BORA-622-X3M	SDH/Sonet	2
TOTAL			8

Tabla 4: Elementos del nodo 3, OTN-X3M-42C

3.1.2 Requisitos del sistema

La funcionalidad principal del diseño del sistema de vídeo en red del proyecto es proporcionar una plataforma específica de red óptica OTN, en base a los objetivos descritos en el Capítulo 1, estudiando en detalle los distintos componentes software y hardware para la implementación del mismo. En concreto, el sistema completo debe proporcionar las siguientes tareas específicas a partir del uso y ventajas técnicas de la red OTN-X3M (ver sección 3.2.2):

Requisitos de interfaces externos

La retransmisión de las imágenes de video del sistema CCTV y/o notificaciones ante posibles anomalías de alguno de los elementos de la red al módulo de gestión de red o monitorización, debe realizarse lo más rápido posible para que la persona que administra la red pueda responder lo más rápido posible. Por ello, se requieren interfaces de red del tipo serie RS-232 para la conexión de los distintos elementos de almacenamiento, grabación y codificación a los nodos de red, así como interfaces de red ópticas con tecnología láser, la cual resulta la mejor solución a nivel físico al tratarse de un sistema con provisión de ancho de banda uniforme.

Además, dado que el número de cámaras es elevado, se recomienda el uso de interfaces ópticas del tipo repetidores activos, los cuales permiten operar con anchos de banda muy elevados. Es decir, para que sea posible la implementación en hardware de capacidad de encaminamiento multicast de los paquetes de video recibidos desde las interfaces serie que conectan los nodos con los distintos equipos del sistema CCTV o aplicación de TV en circuito cerrado, es necesario incluir un medio físico que se adecúe a las ventajas técnicas de la red óptica o producto OTN, con el fin de proporcionar dichas capacidades de autoconfiguración antes posibles fallos del sistema completo.

Por último cabe mencionar, que para el correcto funcionamiento del sistema completo, se necesitarán tarjetas de interfaz con capacidad de transmisión de 100 Mbps, las cuales se puedan montar en los nodos de la red OTN y se puedan insertar fácilmente

permitiendo así operar en modo Gb. Ethernet *full-duplex*. En términos de interconexión, el objetivo consiste en que internamente los segmentos de la red puedan funcionar de manera independiente permitiendo la re-transmisión en modo Ethernet *full-dúplex*, tanto del vídeo digital (procedente de las cámaras DOMO), posibles alarmas de notificación (generadas por el software que utiliza el administrador de la red OTN) y datos de control (generados por la aplicación de TV de circuito cerrado en el puesto de control y gestión).

Por otro lado, será necesario el uso de tarjetas de interfaz serie RS-232, teniendo en cuenta que la red que se está intentando diseñar es una red OTN del tipo específico OTN-X3M, la cual requiere una configuración de red multipunto, lo cual es muy importante para garantizar la capacidad de sincronismo y evitar que varios dispositivos transmitan al mismo tiempo.

En concreto, se quiere utilizar un tipo de tarjeta de interfaz serie, las cuales permiten conectar equipos a distancias ilimitadas, que permita además transmitir en el anillo la información a una velocidad de transmisión lo más uniforme posible. Para diseñar este tipo de red multipunto, se propone incluir en la arquitectura de la red óptica OTN, *switches* de vídeo compatibles con los siguientes estándares del IEEE e IETF respectivamente.

- **802.3ab:** correspondiente a la tecnología 1000Base-T, garantizando de este modo un ancho de banda permanente de 622 Mbps, sobre par trenzado UTP.
- **802.3z:** correspondiente a la tecnología 1000Base-X, garantizando de este modo un ancho de banda permanente de 622 Mbps, sobre fibra óptica o par trenzado.
- **802.1Q:** interfaces VLAN, con el fin de dejar abierta la posibilidad de diseño de configuración de red con segmentos de red del tipo VLAN, pues permiten la separación lógica de aplicaciones. En tal caso, la infraestructura de la red OTN es bien distinta. Su funcionamiento general se basa en la siguiente idea: redes virtuales donde los servidores del de vídeo pueden localizarse en una ubicación física distinta pero acceder al segmento LAN donde se encuentran las cámaras de red mediante etiquetas de bytes adicionales que indican a qué red virtual pertenecen.
- **PIM-SM:** protocolo de encaminamiento multicast, con el objetivo de reducir al mínimo el uso de memoria, teniendo en cuenta además que se tiene un ancho de banda limitado, tal y como se detalla al principio de esta memoria.

A continuación, vamos a enumerar otros requisitos relevantes en el diseño del sistema, algunos de ellos relacionados con las restricciones temporales fijas de tiempo, tanto de la aplicación de TV de circuito cerrado que se está utilizando (funciones y datos de eventos de

control) en tiempo real), así como los retardos de inserción de tramas y transmisión a través de la red.

Requisitos tecnológicos

Tanto para el envío como la recepción de señales digitales PAL y/o NTSC que se dan en aplicaciones del tipo de sistemas CCTV, es necesario el soporte de la tecnología IP en las cámaras que capturan las imágenes de vídeo. Es decir, al igual que cualquier sistema distribuido con configuración remota de dispositivos y/o interfaces de red, la red óptica o producto OTN debe proporcionar un sistema software, preferiblemente con interfaz Web sencilla, con el fin de manejar desde un puesto de control las cámaras que componen el pequeño sistema CCTV propuesto. Además, las redes que se utilizan para la interconexión de equipos del sistema CCTV deben poder transportar alimentación a los distintos equipos con la tecnología de alimentación a través de Ethernet o PoE (*Power over Ethernet*).

Requisitos de rendimiento

El sistema que se trata de diseñar ha de funcionar con cualquier cámara que sea compatible con el sistema de supervisión y grabación *AXIS Camera Station* de la serie de productos de vídeo en red de AXIS, de manera que se aprovechen las ventajas de transmisión en los enlaces ópticos existentes en la red óptica de transporte OTN descrita en la siguiente sección. Es decir, el objetivo del diseño presente consiste en propagar la información multimedia conforme a las necesidades de transmisión ante posibles alertas o notificaciones de error en la propia red, cuya funcionalidad se puede proporcionar con una solución software de la misma marca que los nodos de la red óptica OTN.

Asimismo, cabe mencionar que el sistema de comunicaciones que se presenta en este proyecto requiere el estudio del medio físico más adecuado para este tipo específico de redes OTN, pues esta red de transporte funciona como una plataforma multimedia o sistema de distribución de vídeo capaz de conmutar y encaminar datos procedentes de dos aplicaciones de gestión, para lo cual se requiere el uso de switches capaces de usar un modo de encaminamiento multicast, aparte de la selección previa realizada para el tipo de fibra correspondiente no a la zona de detección, sino a las condiciones de cualquiera de los nodos de red que componen la red de transporte OTN.

Finalmente, con el uso de esta tecnología se intenta que el diseño final sea una solución de sistema de comunicación que garantice que se está gestionando de forma adecuada y proactiva el servicio de vídeo en red integrado, mediante la técnica TDM sobre IP. Es decir, no sólo la tarea del estudio técnico del medio físico (pues se sabe que la fibra óptica con fuentes ópticas del tipo láser utiliza un margen de seguridad **mayor** que la fibra monomodo estándar del tipo G.652), sus pérdidas medias de emisión son del orden de 0.03 dB/Km por empalme, emitiendo así a una longitud de onda nominal de **1.550 nm** que es la anchura espectral máxima para **un** canal de comunicación asignado para sistemas del tipo CCTV o cualquier otro tipo de aplicaciones de vídeo en red sino la definición de un conjunto de requisitos específicos de funcionamiento del sistema completo.

3.1.3 Actores del sistema

Lo primero de todo a la hora de elegir el equipamiento concreto para el diseño del sistema de este proyecto, consistió en la definición de los dos servicios que se querían proporcionar en base al conocimiento teórico y práctico: el intercambio de flujos de vídeo sobre IP, independientemente de la ubicación del entorno de la aplicación multimedia (para una aplicación concreta de TV en circuito cerrado de tamaño pequeño) y la virtualización o monitorización de interfaces de red y equipos físicos incluidos en el sistema.

Particularmente nos hemos apoyado en estándares de distribución multimedia conocidos y sincronización temporal entre aplicaciones para un escenario o entorno determinista, presentando una solución de implementación en hardware con capacidad para diferenciar al menos la asignación de ancho de banda y nivel de congestión en cada instante.

En cuando a la elección de la plataforma o sistema de distribución específico y por con siguiente usuarios de la solución propuesta, se han tenido en cuenta los dos siguientes parámetros de **fiabilidad** de equipos, con el objetivo que la solución fuera lo más idónea posible para cualquier cliente que pueda presentar dichas necesidades de conmutación e integración de aplicaciones, ya sea para un sistema de megafonía o un sistema de *streaming* de vídeo con características de control remoto como el expuesto en este proyecto. En resumen, nuestro diseño de sistema de vídeo en red está sujeto a los dos siguientes parámetros:

- 1) **MTBF (*Main Time Between Failures*)**: tiempo medio entre fallos del equipo en cuestión. Esto se ha aplicado para la tecnología de la red de transporte o distribución.
- 2) **MTTR (*Main Time To Repair*)**: tiempo medio de reparación del equipo específico, incluyendo el tiempo de diagnóstico, sustitución de componentes y nuevo conexionado, para la entrada en servicio de los distintos equipos. Esto se ha aplicado para la el fabricante o marca de equipos de CCTV a un menor coste.

Además, ya sea para la funcionalidad de distribución de flujos de vídeo como para el control de accesos en un área concreta, los responsables del manejo de equipos que componen el sistema (actores del diseño propuesto) se sabe que deben interactuar con el mismo de manera ininterrumpida. En base a este requerimiento de uso, los usuarios que se necesitan en un producto técnico como el propuesto, son los siguientes:

- **NIC (*Network Information Center*)**: puesto de gestión de red para el control de tráfico de manera equitativa, permitiendo contemplar el estado de interfaces de red y conexiones en la red de transporte OTN-X3M. Además, debe ser capaz de difundir posibles fallos en la capa física, mediante la versión actual del protocolo de gestión de red SNMP v3. Para ello, se ha elegido una solución de la misma marca que la red de distribución, pues se considera que sería la solución más sencilla de integración y cumple con el servicio que se quiere proporcionar. Configuración de red basada en arquitectura o modelo básico de gestión de red Agente-Gestor.
- **Estación de trabajo de vigilancia**: puesto de control o supervisión remota de secuencias de vídeo a través del registro o grabación del vídeo digital en un disco duro local o DVR. Es decir, el administrador o vigilante del área concreta será capaz de visualizar y gestionar las cámaras, conectándose en remoto desde una aplicación cliente alojada en un servidor de aplicaciones dotando de este modo al vigilante de la capacidad de visualización de vídeo en directo y control del estado de cualquier

cámara y resto de dispositivos gestionados de la red. Para ello, requerirá de la ayuda de un monitor y de manera opcional de un teclado *joystick*. Configuración de red LAN en modo bus con servidor de gestión de vídeo o VMS.

En nuestro diseño se ha supuesto que el uso de un ratón es suficiente para el manejo de los productos software de todas las estaciones, aunque en el caso del puesto de control el fabricante sí que recomienda este tipo de iteración pues el tipo de cámara de red elegido cuenta con funcionalidad de vídeo inteligente y parece más correcto el uso de un teclado (ver Anexo). Por ejemplo, los tipos de cámaras de red fijas del modelo 221 de Axis (compatibles con el estándar de compresión de vídeo H.263 o MPEG-4 Parte 2), aun perteneciendo a una gama de cámaras de muy buenas prestaciones, no proporcionan la funcionalidad de vídeo inteligente y por tanto no se suele requerir un teclado de estas características en el PC servidor.

Por último, una vez que se han tomado por un lado las decisiones principales a tener en cuenta para la correcta gestión de vídeo de alta definición o HDTV (*High definition TV*) de la aplicación de TV en circuito cerrado o sistema CCTV, y por otro lado el análisis correspondiente para la integración de la misma en una red de transporte OTN-X3M y monitorización de interfaces de red, el autor de esta memoria ha dedicado una parte importante a evaluar las distintas alternativas de sistemas de vigilancia IP digitales debido a que se sabe que la tecnología de red óptica OTN es un hardware de coste elevado aunque sus prestaciones sean de una gran calidad o representen una solución global muy competente para entornos industriales que requieran algún tipo de aplicación de megafonía y/o aplicación de TV en circuito cerrado.

Por este motivo, se da una breve reseña de los aspectos fundamentales de este tipo de sistemas integrados. Por un lado desde un punto de vista práctico de acceso a las imágenes digitales de las cámaras (equipos necesarios de conversión de señales), y por otro lado desde un punto de vista teórico sobre los estándares de calidad de imagen más usados para facilitar la visualización de imágenes y recuperación de imágenes más fácilmente.

3.2 Diseño del sistema de vídeo

3.2.1 Sistema CCTV

3.2.1.1 Introducción

En cuanto a la infraestructura de red física, tal y como se ha detallado en la sección anterior, la mayoría de sistemas de vídeo en red ya implantados (Por ejemplo, un sistema de “videovigilancia” IP en el campus de la escuela politécnica de la universidad) suelen incluir sistemas de almacenamiento o grabación que se conectan directamente a una red LAN en topología bus. Es decir, en un sistema de vigilancia IP digital completo, las imágenes de una cámara de red se digitalizan una vez y se mantienen en formato digital sin conversiones innecesarias y sin degradación de las imágenes debido a la distancia que recorren por una red.

Además las imágenes digitales, tal y como se ha comentado ya, se pueden almacenar y recuperar más fácilmente que en los casos en los que se utilizan cintas de vídeo analógicas. Esto es, en los sistemas de vídeo en red, al igual que en muchos otros tipos de comunicaciones más comunes como son el correo electrónico, los servicio Web y la telefonía por ordenador, se realizan también a través de redes IP (*Internet Protocol*) cableadas o inalámbricas. En realidad, el vídeo en red y las transmisiones de audio, así como otros datos, se efectúan a través de la misma infraestructura o plataforma de red. En resumen, los sistemas de vídeo en red proporcionan a los usuarios, en particular a los del sector de vigilancia y seguridad, muchas ventajas con respecto a los sistemas CCTV analógicos tradicionales.

Y desde un punto de vista de aplicación, cabe mencionar que los sistemas de vídeo en red se caracterizan por ser una buena solución en diversos entornos industriales con el fin de proporcionar una mejor compresión y seguridad de la información que se transporta, pues dichos entornos de aplicación están sujetos a leyes y normativas de instalación de confidencialidad muy rigurosas.

Por ejemplo, no se concibe el uso de una cámara compatible con el tipo de autenticación básica, sino que se lleva a un nivel más alto, de manera que el hardware del sistema CCTV es compatible en la mayoría de fabricantes posibles con el tipo de “autenticación digest” como mejora de seguridad y/o confidencialidad de datos que se intercambian en la red

de seguridad. En nuestro caso concreto al tratarse de una red que transporta diferentes tipos de datos, pues las redes LAN que se conectan a la plataforma OTN pueden transferir tanto **vídeo digital** (procedente de las cámaras de red), **datos/comandos** (módulo de gestión y visualización) como **alarmas/notificaciones de error** (módulo de gestión de red OMS) para la correcta configuración de los distintos equipos y asignación dedicada de ancho de banda dedicado para cada segmento LAN en cada instante temporal (tasa máxima de funcionamiento de 784 Mbps) nos hemos centrado por esta razón en la separación de aplicaciones y hemos decidido incluir los elementos o componentes básicos que se necesitan para la provisión de un servicio de servicio multimedia de alta definición o HDTV, partiendo de la base de que la red *backbone* de comunicación que transporta los datos, debe estar disponible de forma permanente y por tanto los datagramas IP que se envían no deben sufrir retardos muy excesivos, pues sino no resultaría una solución de vídeo en red efectiva en costes y/o recursos empleados. Es decir, para nosotros no ha sido tan importante el tipo de técnica determinista soportada, sino los datos de retardo que presentan las redes de paquetes OTN como plataforma o sistema distribuido para la correcta **gestión de eventos** y funcionalidad de **vídeo inteligente**, las cuales no están presentes en un sistema CCTV analógico tradicional. En la siguiente sección se incluye una breve explicación sobre ambas funcionalidades.

3.2.1.2 Características

El sistema de vídeo en red propuesto en este proyecto forma parte de los sistemas de “videovigilancia” de red digital estándar, pues se han considerado aspectos como la accesibilidad remota, alta calidad de imagen, alimentación sencilla a través de Ethernet (los nodos de la red de distribución utilizan segmentos de redes LAN 802.3z) e integración sencilla con comunicación serie RS-232 para la conexión de los equipos. Es decir, partiendo de la base de que el entorno de aplicación va a ser un área fija (sin cambios de ubicación en la instalación cliente), se decide centrar el diseño del sistema CCTV en el aprovisionamiento de un sistema de vídeo en red de altas prestaciones en términos de *streaming* de vídeo, lo cual no parece estar tan extendido ya que la visión general de un sistema de vídeo en red consiste en la integración con otros módulos de vigilancia y/o control de accesos.

En resumen, las características del sistema de vídeo en red que se proporcionan

con nuestro diseño concreto (uso de plataforma OTN) son las siguientes:

- **Componentes básicos:** el sistema de vídeo en red de este proyecto se centrará en detalle en el tipo de cámara de red (resolución HDTV), el codificador de vídeo (para proporcionar una mayor prestación de compresión de imágenes con AVC) y el software de gestión de vídeo (accesibilidad remota).
- **Ampliación de la funcionalidad de encaminamiento:** los equipos del sistema de vídeo en red deben ser capaces de re-encaminar el tráfico de vídeo mediante la implementación en hardware del algoritmo normal interno en aplicaciones multimedia sobre IP con características de almacenamiento redundante PIM-SM.
- **Transporte de información sobre notificación de eventos:** Al menos uno de los equipos básicos incluidos en el diseño debe ser gestionable con el estándar genérico de definiciones MIB-II, con el fin de que sirva para la funcionalidad de virtualización de equipos físicos presentes en el sistema.

3.2.1.3 Elementos

Para cumplir con los requisitos citados al inicio de este Capítulo y funcionalidades principales de los sistemas CCTV, se concluye finalmente el uso obligatorio por un lado de un sistema de gestión de red, de manera que no sea necesario instalar ningún paquete de servicios adicional, pues la recepción de los eventos de red sólo será posible si se incluye un módulo de software que interactúe con la propia tecnología y enlaces de la red OTN. Esta aplicación software, tal y como se detalla más adelante, debe por tanto ser capaz de controlar el resto de elementos del sistema CCTV integrado (cámaras y equipos de grabación y codificación), haciendo uso de una configuración típica de Cliente-Servidor con posibilidad de ampliación a un cliente remoto mediante una conexión simple TCP/IP.

Por otro lado, tal y como se ha mencionado anteriormente, la información que se solicita desde los puestos de gestión de vídeo y de gestión de red o monitorización, va a requerir un uso ininterrumpido de las aplicaciones que lo administran, por tanto se propone el uso de *switches* de vídeo que no sólo sean capaces de transmitir los distintos flujos de vídeo o secuencias sino que además nos permita reducir el ancho de banda utilizado a la hora de encaminar las tramas por las conexiones internas Ethernet existentes en el diseño. Es decir, para que la comunicación de datos sea lo más escalable posible se propone la configuración de segmentos de red en modo multipunto de tal manera que cada conexión cuente

exclusivamente con una asignación de ancho de banda o tasa máxima de emisión específica. Por ejemplo, el conjunto de cámaras de red junto al grabador de vídeo requerirán una velocidad de datos bien distinta a la asociada al módulo de gestión del sistema de vídeo, cuyo parámetro dependerá de la identificación de cámara que se quiere visualizar en el monitor de vídeo o panel de visualización CCTV. Más adelante se puede entender cuáles son los equipos que los usuarios o actores del sistema manejarán en sus estaciones de trabajo para el correcto aprovisionamiento del servicio de vídeo en red descrito.

Cámaras DOMO

Las cámaras DOMO IP de interiores de la serie M32 de AXIS resultan una excelente elección, a la hora de elegir el tipo de cámara a incluir en un sistema de vídeo en red como el que se presenta en este proyecto. En nuestro caso concreto, dado que no había un listado de necesidades o requerimientos de calidad, nos hemos decidido por incluir una cámara que contase con una excelente calidad de imagen y por consiguiente con capacidad de resolución de imagen avanzada del tipo específico HDTV.

Además, aunque se sabe que este tipo de aplicaciones de TV en circuito cerrado o sistemas CCTV cuentan con una frecuencia de imagen dada, nosotros nos hemos centrado en el punto de vista de facilidad de uso con el objetivo que se proporcione finalmente la funcionalidad visual añadida de un campo de visión con múltiples secuencias H.264 el cual implica una mejora añadida cuando se quieren cubrir aspectos relacionados con el campo de visión, ya sea en un campus, un colegio o cualquier entorno cerrado.

En cualquier caso, teniendo en cuenta que el tipo de resolución HDTV permite alcanzar una precisión de imágenes mucho mayor (basada en estructuras DCT) y por consiguiente detección de movimiento por vídeo, lo cual desde un punto de vista teórico resulta interesante cuando se dispone de una red de distribución capaz de transportar los datos correspondientes por medio de los nodos que componen la plataforma multimedia, mediante el mecanismo de transporte TDM.

Es decir, se consigue de este modo una solución simplificada de red distribuida y los actores de nuestro sistema, los cuales se citan más adelante. Sus características son las siguientes, en lo que a estándares de transmisión de vídeo se refiere:

- Compresión de vídeo, compatible con el estándar de codificación H.264 (MEPG-4 Parte

10).

- Resolución de imagen de 800x600, con un tamaño de imagen de 160x90 MP.
- Velocidad de imágenes codificadas con H.264, de **30 ips**.
- Protocolos compatibles: IPv4/IPv6, HTTP, **HTTPS**, FTP, SMTP, RTP/RTCP, **SNMPv1/v2c/v3 (MIB-II)**, DNS, NTP, RTP, IGMP y RTSP.
- Transmisión de vídeo, proporcionando múltiples secuencias en modo H.264.
- Ajustes de imagen con funcionalidad de superposición de texto e imágenes, mediante configuración más precisa del comportamiento de la aplicación final.



Figura 3: cámara de red, modelo Axis DOMO fijo M3203-V (Ref. [anexo])

Por último, destacar que debido al tipo de red concreta que se ha incluido en este proyecto (denominada OTN-X3M), la cual se sabe que alberga componentes electrónicos de un coste elevado (independientemente de los medios físicos utilizados) se ha elegido este modelo de cámara exacto porque era el tipo de cámara que mejor se adaptaba a la totalidad de estándares conocidos en el desarrollo de aplicaciones de contenido multimedia. En particular, debido a que había elegir un número concreto de equipos para la aplicación final, nos hemos decidido por un sistema de tamaño pequeño con el objetivo de reducir la complejidad del servicio de seguridad subyacente.

Módulo de Codificación de Vídeo

El codificador de vídeo AXIS modelo Q7401, permite codificar el vídeo capturado por las cámaras DOMO citadas anteriormente, mediante el estándar de compresión **H.264 Parte 10** (códec H.264), compatible a su vez con el estándar H.264 Parte 2 (códec H.263) y el estándar *Motion JPEG*. Cabe mencionar, que este codificador proporciona además funcionalidades de los siguientes tipos: detección de movimiento mejorada, manipulación de alarmas y detección de sonido, mediante un software de gestión de vídeo como el citado en la sección 3.2.

En nuestro caso, hemos decidido incluir un codificador con soporte del estándar H.264 de última generación, por dos razones: por un lado, la tecnología de red de transporte OTN es una red óptica de gran capacidad de transmisión (en nuestro caso, 622 Mbps) en combinación con las tarjetas BORA OTN-X3M-622, presentes en los nodos de la red OTN (ver Capítulo 4) de tal manera que parece lógico transmitir la aplicación de vídeo integrada con el menor MTBF posible, debido a los retardos de propagación de los paquetes IP que le llegan a los nodos de la red óptica OTN, y por otro lado, en base a las especificaciones técnicas del software de gestión de vídeo (ver Capítulo 3), el cual es compatible con dicho estándar de codificación, para la visualización de las imágenes de vídeo capturadas por las cámaras de red.

El codificador Q7401, es compatible con el estándar **IEEE 802.af** que permite la transmisión de vídeo sobre Ethernet con capacidad de *PoE (Power over Ethernet)*, de manera que las cámaras hacen uso de este tipo de alimentación en combinación con el hardware de red OTN. Esto quiere decir que cuando el sistema no está centralizado (como es nuestro caso) o es un sistema grande con un elevado número de cámaras, entonces se suele conectar las cámaras a un PC servidor con conmutadores PoE, lo que se conoce normalmente como cámaras de red. Es decir, la corriente se suministra de forma automática, evitando así la instalación de tomas de corriente en las proximidades de las cámaras.

En nuestro caso concreto, tanto las cámaras de red, como los codificadores de vídeo y el sistema de grabación elegido (DVR) forman la red IP principal con topología BUS separando de este modo la parte principal del sistema de vídeo de la red que tiene los equipos secundarios (equipo de gestión de vídeo, PC de control y monitor de visualización del vídeo) en otra red LAN distinta, como medida de seguridad ante posibles intrusos o delincuentes que tengan la intención de acceder a las imágenes de vídeo de la instalación. A nivel físico, tanto el codificador como el grabador de vídeo o DVR y estación cliente de control del sistema CCTV, utilizan conexiones de datos con el tipo de cable UTP cat5e, el cual permite interfaces de red más robustas. Finalmente, las características técnicas del codificador elegido, son las siguientes:

- Capacidad de ajuste de parámetros de la imagen capturada (brillo y contraste), antes de que se realice la codificación.
- Configuración de las secuencias de vídeo capturadas, en diferentes formatos de compresión, resolución y frecuencia de imagen: 780 x 480 píxeles en NTSC y 720 x 576 en PAL.
- Almacenamiento local: ranura para tarjeta de memoria SD/SDHC.
- Capacidad de codificación de audio a diferentes velocidades: AAC-LC, G.711 PCM y

G.726 ADPCM.

- Protocolos compatibles: IPv4/IPv6, HTTP, **HTTPS**, FTP, SMTP, RTP/RTCP, **SNMPv1/v2c/v3 (MIB-II)**, DNS, NTP, RTP, IGMP, RTSP y DiffServ.
- Seguridad: Protección mediante contraseña (filtro de dirección IP), autenticación *digest* y cifrado HTTPS.

La siguiente imagen muestra el aspecto del codificador:



Figura 4: codificador de vídeo, modelo Axis Q7401 (Ref. [anexo])

Módulo de Gestión de Vídeo y Visualización

El módulo de gestión y visualización de vídeo del sistema CCTV, se compone de un servidor de gestión de video o VMS (*Video Management System*) del modelo AXIS 250S, y un software de aplicación de gestión de vídeo también del fabricante AXIS del modelo de paquete de software para sistemas de vídeo en red *CCTV AXIS Camera Station*.

A continuación se citan las características generales de funcionamiento, compatibilidad de estándares y resto de tecnologías destacables para nuestro diseño concreto de sistema de vídeo en red:

- **Sistema de vigilancia IP digital:** las imágenes de las cámaras de red se encapsulan directamente en paquetes con formato TDMoIP de manera que se pueden interpretar desde el módulo de gestión de vídeo.
- **Calidad de imagen:** se mantiene y se produce una mejor calidad de imagen mediante una resolución más alta que la empleada normalmente en cámaras CCTV analógicas, utilizando HDTV.
- **Transferencia de comandos de control a través de la red:** la activación y envío de mensajes a las cámaras de red se realiza por medio de la funcionalidad añadida de

gestión de eventos y vídeo inteligente. Para ello la interfaz de usuario del programa software de gestión de vídeo permite configurar el modo de transporte que utilizan los dispositivos para el correcto envío de mensajes, como son los protocolos RTP y RTSP. La opción de control de acceso a las imágenes capturadas por las cámaras se realiza por medio de un servidor de vídeo con funcionalidad inalámbrica, de modo que ante posibles eventos de fallo en el medio físico, el sistema pueda seguir funcionando.

- **Sistema de grabación digital:** antes de que se envíen las secuencias de vídeo a la red OTN, el equipo de grabación empleado realiza un filtrado de priorización de secuencias de vídeo que permite adicionalmente al software anterior acceder a imágenes previamente grabadas, no solo en directo, a través de un navegador Web.

Servidor de gestión de vídeo

El servidor de gestión de vídeo AXIS 250S o VMS, se caracteriza por la transmisión de contenido multimedia en directo, ya sea en el formato de compresión en este caso MPEG-2, y recepción en tiempo real. En concreto, este equipo permite alcanzar velocidades de datos de **24 Mbps** y una velocidad de refresco de hasta **25/30 imágenes por segundo**. Además, posibilita la funcionalidad adicional de notificación de eventos mediante correo electrónico, mediante el protocolo SMTP: Las características más relevantes son las siguientes:

- Interfaces de comunicación serie: **RS-232** (115 Kbps) y RS-485 (38,4 Kbps).
- Conexión de red mediante cable de par trenzado RJ45.
- Resoluciones disponibles: **720x576**, 352x288, 352x240 píxeles.
- Soporte de los estándares de codificación de canales de Televisión: PAL y NTSC, en nuestro caso se utilizará el estándar NTSC de TV).
- Conexiones de red o tecnologías: 10Base-T (*Ethernet*), **100Base-T** (*Fast Ethernet*).
- Almacenamiento de vídeo remoto: mediante protocolo FTP.
- **Configuración remota** mediante interfaz **web**.

Su aspecto es el siguiente:



Figura 5: equipo de gestión de vídeo, modelo AXIS 250S (Ref. [anexo])

Equipo de control CCTV:

Aparte de los equipos ya comentados que se deben incluir en nuestro sistema de vídeo en red, ha sido necesario la elección de un equipo de seguridad con el software de control correspondiente para la funcionalidad de gestión de vídeo, de manera que sea posible la gestión centralizada de las distintas cámaras de red DOMO propuestas. Esto es, un servidor que se encargue por un lado de centralizar las imágenes capturadas por las cámaras, y además que permita el acceso a través de Internet, para el sistema de almacenamiento de imágenes que se requería en este caso.

El equipo servidor elegido en este proyecto para la funcionalidad de gestión del sistema de vídeo en red (no para la infraestructura de distribución del contenido), es el modelo HP PROLIANT DL380G7, el cual presenta las siguientes ventajas técnicas funcionales:

- Arquitectura HP VC (*Virtual Connect*), con tecnología HP Flex-10.
- Capacidad de virtualización de almacenamiento para entornos de servidor
- Windows Server R2.
- Herramienta de virtualización HP Hyper-V R2, para SO Windows 2008 Server R2.
- Herramienta de serie de 4 GB.
- Procesador Intel Core i7 a 2,6 GHz.
- Memoria máxima de **48 GB** (espacio de almacenamiento).

Software de Gestión y Visualización de Vídeo

Para el software de gestión de vídeo VMS (*Video Management System*), se propone el software de gestión, grabación y supervisión (modelo AXIS Camera Station), compatible con el estándar de compresión de vídeo **MPEG-4 Parte 10** (códec H.264), el cual permite gestionar el vídeo capturado por las cámaras IP de la red CCTV. En concreto, este software permite el control remoto de hasta 100 cámaras y está pensado para visualizar vídeo (evitando así el uso de un panel de vídeo adicional con múltiples monitores o *VideoWall*), en redes con una velocidad de transmisión de 100 Mbps.

Este cliente software ofrece una interfaz sencilla de visualización/reproducción de vídeo y control remoto de cámaras de red, para el SO Windows, con una velocidad de reproducción de 64x, compatible con MPEG-4 y Motion JPEG. En nuestro caso, se utilizan las

funcionalidades básicas de almacenamiento de datos de las cámaras, grabación y visualización de las secuencias de vídeo, en combinación con el servidor de gestión de vídeo (descrito en la siguiente sección), pero cabe mencionar que está pensado para proporcionar control remoto de cámaras PTZ o domo, mediante el uso de un mando de control o *joystick*. Es decir, se trata de un software que utiliza interfaz “multipantalla” para la funcionalidad de VMD. La siguiente imagen, muestra el aspecto que tendría en funcionamiento dicho paquete software.

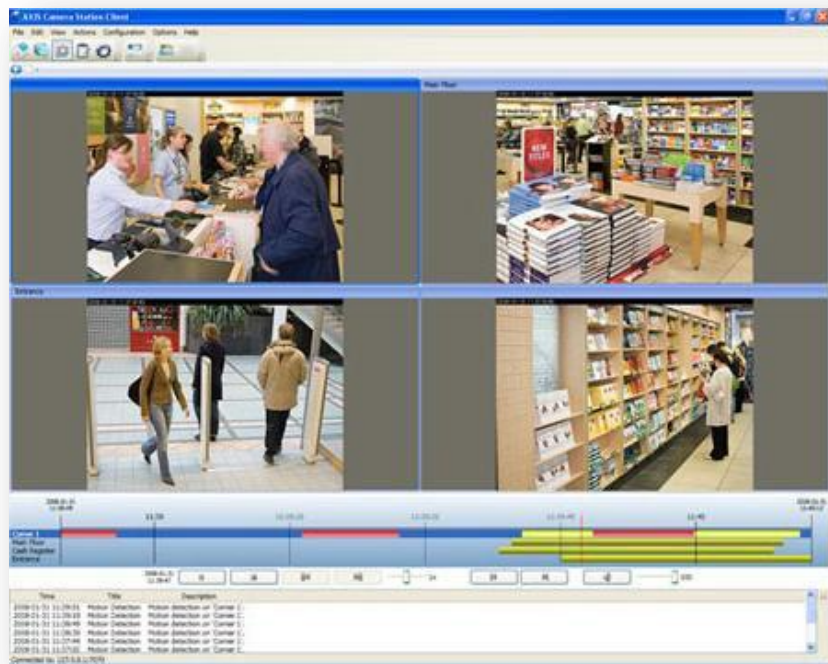


Figura 7: software de gestión de vídeo, modelo AXIS Camera Station (anexo)

Monitor CCTV

El monitor de nuestro sistema de vídeo en red seleccionado utiliza un programa de gestión de vídeo con la ventaja de que permite al señor o vigilante que está en su puesto de control, el fácil manejo de las cámaras de red y además permite la gestión de eventos con vídeo inteligente, característica que proporciona no la pantalla en sí, sino el tipo de cámara elegida.

A continuación, se citan las características mínimas que debe cumplir el monitor para la visualización de vídeo en directo:

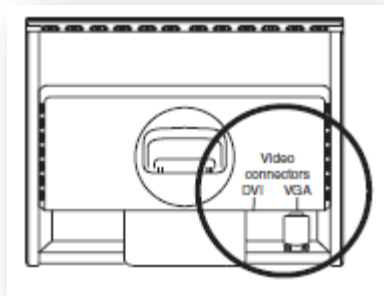


Figura 8: monitor de vídeo digital, modelo HP f70 D5064 17" Color. (Ref. [anexo])

El monitor elegido para el módulo de visualización de vídeo es compatible con el software de gestión de vídeo en red del mismo fabricante elegido para el resto de elementos del sistema CCTV, y en particular destaca por su capacidad de autoconfiguración o *Plug and Play*, ya que en este trabajo, el tipo de red óptica que se utiliza como plataforma o sistema de distribución proporciona entre otras ventajas dicha funcionalidad la cual es muy común en aplicaciones sensibles al retardo o de cómputo interactivo.

Módulo de Grabación

El grabador de vídeo o DVR (*Digital Video Recorder*), modelo AXIS 2460, proporciona un sistema de almacenamiento muy robusto, pues posibilita el almacenamiento de secuencias de vídeo por prioridades, concretamente utilizando una tecnología de grabación de vídeo digital más avanzada que la técnica convencional de grabación de secuencias por orden de llegada o FIFO (consultar anexo).

En concreto, el grabador de vídeo se conecta igual que el codificador, mediante conexión serie RS-232 al nodo 1 de la red óptica OTN, con una velocidad máxima de la interfaz serie que lo conecta al nodo de 230 Kbps. Este modelo de DVR, tiene las siguientes características técnicas destacables:

- 1) Capacidad de visualización remota en directo, administración de imágenes de vídeo simultáneas, mediante interfaz de aplicación web.
- 2) Modo de grabación continuo, permitiendo, permitiendo la notificación de alarmas, mediante el protocolo SMTP.
- 3) Resoluciones disponibles: CIF, **4CIF** y QCIF.
- 4) Frecuencia de imágenes: **10 imágenes por segundo**, con un **tamaño medio de imagen de 8 KB**.
- 5) Estándares de transmisión de vídeo **PAL** y **NTSC**: 25/30 fps.
- 6) Capacidad de almacenamiento: **40 GB, 80 GB o 160 GB**.
- 7) Seguridad: Almacenamiento local (mediante contraseña) y almacenamiento remoto (protegido con *firewall*).

Las consideraciones en detalle que se han tenido en cuenta con el fin de que el sistema digital de vídeo en red resulte la mejor solución posible, manteniendo la calidad final de las imágenes de las cámaras de red son las siguientes:

- **Resolución:** analizando las tarjetas de vídeo, según la funcionalidad del programa de gestión de vídeo, la aplicación final recibirá el vídeo digitalizado (tras el proceso de codificación) con el sistema PAL: 704x576.
- **Nivel de compresión:** se aplica el mínimo de compresión que permite la tarjeta, reduciendo el tamaño y el ratio de *frames* a un volumen de flujo de datos de 768x576 a una velocidad de 30 ips para MPEG-4.
- **Frames por segundo:** la frecuencia de imágenes original de grabación, permite digitalizar las imágenes a una frecuencia de 10 imágenes por segundo, una vez comprimido, algo menor que la asignada al equipo servidor de gestión de vídeo.
- **Modo de visualización:** sistema multipantalla.

Es decir, el cálculo del **espacio de almacenamiento** necesario para la gestión de las imágenes de vídeo y de la aplicación de usuario integrada a una red Gigabit Ethernet es necesario para que el software de gestión de vídeo funcione y no presente retrasos elevados en las operaciones básicas que se pueden realizar en caso de utilizar el sistema completo de vídeo en red como el descrito en este proyecto. Por ello, en un entorno real que no hiciese uso de un modelo de comunicación determinista lo correcto sería hacer un cálculo aproximado para la ejecución del mismo, como valor mínimo necesario que se requeriría para un correcto funcionamiento secuencial con el fin de que el DVR incorporado resulte el equipo más adecuado para la funcionalidad de grabación o almacenamiento de imágenes en conjunto con el tipo de cámara y codificador empleados ya que estos equipos son los que permiten conocer el ancho de

banda que se maneja y a tener en cuenta para el cálculo del tamaño de almacenamiento correspondiente.

Sin embargo, en nuestro caso concreto de uso de la infraestructura de red OTN, la cual se describe en la siguiente sección, la tasa de envío la marca el modelo de comunicación determinista asociado al tipo de red óptica empleada (OTN-X3M), considerando la tasa de transferencia a nivel de bit que utilizan los nodos de la red independientemente de las tarjetas de vídeo que se utilicen para el proceso posterior de producción de vídeo. De esta manera, el tamaño de almacenamiento que se necesita en nuestro caso concreto se corresponde con los siguientes valores, donde 32 Kbps es la tasa de envío que marca el propio hardware de la red:

Espacio de almacenamiento = 32 Kbps / (1.024 kbits/1 Mbit) x 3.600 seg/hora x 24 horas/día x 30 días / (8 bits/1 Byte) / (1.024 MB/1 GB) = **10 GB/cámara** (aproximadamente)

En resumen, al incluir un número de doce cámaras, la capacidad de almacenamiento total asciende a 120 GB que pertenece al rango de valores proporcionados por el grabador de vídeo elegido. Finalmente la siguiente imagen muestra el aspecto del grabador de vídeo:



Figura 9: equipo grabador de vídeo, modelo Axis 2460 (Ref. [anexo]))

3.2.2 Red OTN

3.2.2.1 Introducción

El concepto de red de transporte **OTN622-X3M** se basa en nodos de red conectados a través de una infraestructura de fibra óptica, de modo que es posible proporcionar un servicio de vídeo en red sobre una red óptica de transporte, mediante la integración de tarjetas de interfaz Ethernet y tarjetas de control común BORA, en los nodos de red. Además, la solución de vídeo presentada en el presente proyecto, está pensada para ser integrada con aplicaciones

de vigilancia en remoto dónde los nodos específicos de la red troncal puedan transmitir dichas tramas haciendo uso de la técnica TDM, estableciendo así enlaces físicos entre circuitos los elementos del sistema CCTV incluidos en la red. O bien, mediante circuitos virtuales, en el caso de elegir una arquitectura de red sin nodos OTN.

En ambos casos, la topología lógica (no física) en anillo de la red de transporte se caracteriza por proporcionar un ancho de banda uniforme, según las especificaciones técnicas de los equipos multimedia que se integren. En nuestro diseño, nos hemos centrado fundamentalmente en las especificaciones de dos equipos: el modelo de cámara IP que captura el vídeo digital, y el codificador del vídeo H.264 que lo codifica y es estrictamente necesario para la correcta reproducción del vídeo en el módulo de gestión y visualización, desde el que se controla el sistema.

En realidad, OTN tiene múltiples usos según corresponda, pues se trata de una plataforma multiservicios, pero en nuestro caso, se utiliza como red de transporte para la transmisión de vídeo, aprovechando de este modo todas las ventajas técnicas que presenta dicha tecnología como puede ser la reconfiguración automática de los canales de transmisión ópticos, reconfiguración automática de la red, asignación de canales dedicados para aplicaciones multimedia y mecanismo de búfer en los nodos de red, con el objetivo final de facilitar la integración de los distintos elementos y equipos del sistema de vídeo en red.

Por otro lado, se debe tener en cuenta los medios físicos empleados, en nuestro caso el tipo de red OTN-X3M que se ha incluido actúa como una red independiente, estableciendo conexiones punto a punto, mediante el uso de tarjetas de interfaz las cual se permite gracias al uso del tipo de estaciones de trabajo o nodos de red concreto. Es importante mencionar que la red de transporte OTN está pensada para sistemas de telecomunicaciones a larga distancia, con velocidades de transmisión del orden de 100 Mbps (*Fast Ethernet*) y 1000 Mbps (*Gigabit Ethernet*), y aunque el uso de un medio de transmisión del tipo de par trenzado o coaxial podría ser una buena alternativa en el sentido en que se permite trabajar en las bandas de 16 MHz, 20 MHz y 100 MHz, principalmente porque el uso de coaxial supondría en uso de repetidores cada 1 o 2 Kms, para proporcionar la velocidad máxima de transmisión y por tanto una buena QoS, como puede ser en el caso de prestación del servicio VoD (*Video on Demand*), en lo que a prestaciones de servicio se refiere.

Es decir, no se desea tener transmisiones donde la atenuación (pérdida de potencia óptica en un enlace) sea un problema, como es el caso de los cables coaxiales y pares trenzados. Además, hay que tener en cuenta que la asignación de las conexiones virtuales

entre los nodos se realiza de manera dinámica y no se deben permitir retrasos muy elevados en los nodos que deben procesar dichos flujos de datos y posteriormente retransmitirlos, para establecer así el servicio.

En resumen, con el uso de una red óptica nos quitamos las limitaciones anteriormente descritas. A nivel físico, el anillo óptico es en realidad un conjunto de enlaces punto a punto. En nuestro caso, es necesario el uso de fibra óptica láser monomodo o SM (en inglés, *Simple Mode*) recomendada para comunicaciones a larga distancia que hagan uso de hardware de red OTN, compatible con la norma G.657B de la ITU-T, modelo Brand-Rex G.657B, cuya hoja de características de adjunta en el CD incluido en la memoria.

Cabe mencionar, que se elige este tipo de fibra óptica monomodo de salto de índice porque se considera más adecuado el uso de una fibra con una apertura numérica del orden de 0,5 (parámetro fundamental en sistemas de telecomunicaciones a largas distancias), frente a otro tipo de fibras como pueden ser las de vidrio o fibras multimodo, con aperturas mayores.

Esta decisión supuso un factor determinante, ya que OTN permite también instalar fibras multimodo con diámetros de 50/125 μs y 62,5/125 μs , pero dado que se quería tener un medio físico con el menor número de pérdidas con el fin de conseguir una buena gestión de tramas STM circulantes por los enlaces del anillo óptico, se incluye finalmente un tipo de fibra óptica monomodo de salto de índice, tal y como se muestra en la siguiente figura.

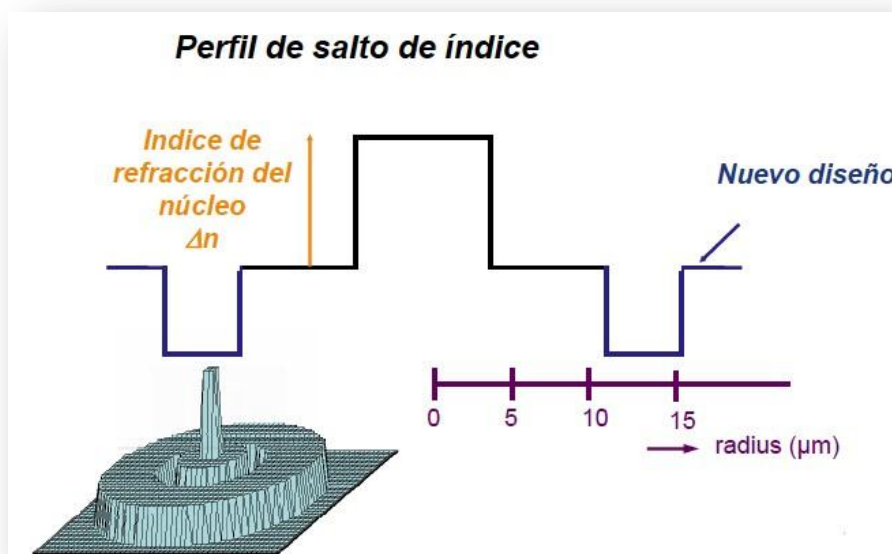


Figura 10: perfil de fibra SM de SI (Ref. [anexo])

En concreto, gracias a una comparativa exhaustiva realizada durante el diseño de red del presente proyecto entre los dos estándares más utilizados en aplicaciones de larga distancia que utilizan láser de alta potencia, pues estos minimizan el riesgo de posibles daños de la fibra, se decide incluir finalmente un medio físico que pueda comprometerse al dato de diez años útiles o amortización de la propia red, indicada por el fabricante de la red OTN, minimizando así el riesgo de daños materiales de la arquitectura de red propuesta.

Por otro lado, las cámaras IP que capturan las imágenes son compatibles con los estándares NTSC y PAL, donde un canal de TV ocupa un ancho de banda de 6 MHz, y 8 MHz respectivamente. Y dado que estos enlaces son meras conexiones, se decide conectar tanto las cámaras como los equipos necesarios mencionados en el Capítulo 3, mediante el uso de pares trenzados sin apantallar. En nuestro caso, se propone cables UTP de categoría 5e, del fabricante *Condumex*, los cuales pueden alcanzar velocidades de hasta 600 Mbps.

	Clases y Tipos de Pares Trenzados				
	Clase C	Clase D	Clase 5E	Clase E	Clase F
Ancho de Banda	16 MHz	100 MHz	100 MHz	200 MHz	600 MHz
Cable	UTP	UTP/FTP	UTP/FTP	UTP/FTP	SSTP
Coste	0.70	1.00	1.20	1.50	2.20

Tabla 5: tipos de cables coaxial (Ref. [2])

Además, en nuestro caso concreto, al estar las cámaras en una LAN distinta que el servidor de gestión de vídeo VMS (pues no se conectan al mismo nodo OTN de la red óptica) y se supone que dichos nodos de red están separados a grandes distancias, parece lógico que dicha red de transporte proporcione un servicio de monitorización a nivel de aplicación, de manera que se tenga reflejado el estado concreto de dichos nodos.

Es decir, los elementos de la aplicación CCTV se conectan a ellos directamente, y tal y como se nombró en el Capítulo 1, se quiere tener supervisión total de los posibles defectos que puedan ocurrir en dicha red. Esto es posible, gracias a la integración del servidor de control o servidor OMS y el cliente OMS, los cuales permiten tener monitorizado los nodos de la red de transporte, mediante una aplicación software con interfaz Web, tal y como se ha introducido al final del Capítulo 2. Se concluye, que la provisión de dicho servicio de monitorización (protocolo **SNMPv3** y estándar **TMN**), representa las siguientes ventajas generales para nuestro diseño de video en red:

- **Estructura de la información de gestión de la red a nivel de aplicación:** los objetos Internet son simples y limitados, frente a los objetos OSI, para los que se definen atributos, acciones, notificaciones, etc.
- **Esquema de nombrado:** Internet deja ese aspecto para ser resuelto por el protocolo, mientras que los objetos OSI se identifican por su "*distinguished name*", que sigue una estructura jerárquica basada, por ejemplo, en la relación de contención.
- **Protocolo de gestión:** SNMP ofrece un conjunto simple y reducido de comandos y opera sobre un protocolo no orientado a conexión (sobrecarga baja), pero su vocabulario es muy limitado y las operaciones de consulta de tablas pueden resultar muy ineficientes. Las recomendaciones de la ITU sobre TMN (*Telecommunication Management Network*) incluyen un exhaustivo conjunto de comandos, una gestión de la MIB eficiente y un amplio vocabulario, pero requiere un protocolo de nivel de aplicación orientado a conexión (sobrecarga notable).

Por último mencionar, que en nuestro estudio nos hemos centrado en la compatibilidad con el estándar de gestión de red **SNMPv3**, asociado a la recomendación MIBII [34], ya que el sistema completo que se intenta diseñar resulta ser una red de paquetes muy rápida y dicho estándar de información surge precisamente por la necesidad de gestión de información en redes de mucha capacidad.

Además, cabe mencionar que el servicio de gestión de red es posible gracias al uso por un lado de tarjetas de lógica común (la cuales permiten proporcionar un servicio SONET a nivel físico) y por otro lado el uso de tarjetas Ethernet que hace posible el mapeo de los datagramas IP y por consiguiente la definición e identificación de los distintos equipos que componen el sistema de vídeo en red. En particular, dadas las posibilidades que este estándar de gestión de red tiene, resulta una solución muy adecuada para proteger la transferencia y producción de vídeo mediante la integración del paquete software propuesto del mismo fabricante de red el cual hace posible el control y seguimiento de las cámaras de red y codificadores de vídeo.

3.2.2.2 Características

La primera de las decisiones importantes, se basó en cómo distribuir las señales digitales con el menor número de retardos en los nodos intermedios y de la red de transporte OTN, frente a los sistemas CCTV analógicos tradicionales basados en IP, los cuales no permiten insertar marcas de tiempo ni asignación del ancho de banda de la aplicación concreta independientemente de la infraestructura física utilizada.

Es decir, estos sistemas se caracterizan por no proporcionar gestión de las pérdidas de los paquetes de la LAN que se interconectan ni liberación de los circuitos virtuales correspondientes. En nuestro caso, los elementos del sistema CCTV se integran a los nodos de la red *backbone* de comunicación, mediante la creación de LANS virtuales de manera que los nodos OTN conmutan las tramas TDM, reservando segmentos de red IP específicos en cada momento determinado.

A nivel de servicio, cabe mencionar que los nodos OTN de la red de transporte, son capaces de conmutar los paquetes IP de vídeo, estableciendo un anillo lógico en cada instante, tal y como se detalla en el anexo incluido al final de esta memoria, utilizando transceptores ópticos SDH. Finalmente, se concluyen las siguientes ventajas funcionales, respecto al uso de la red OTN-X3M, como plataforma multimedia:

1) Mecanismo de auto-regeneración (*Plug&Play*): Los nodos son capaces de guardar toda la información en memorias no volátil, desde el cliente software del módulo OMS, mediante configuración remota. Es decir, el proceso de autoconfiguración de direcciones IP de los elementos que componen la aplicación integrada, se realiza en menos tiempo que en el caso de una conexión de anillo óptica con equipos de red con capacidad de encaminamiento multicast, de manera que el MTTR de la red multimedia es muy pequeño, ya que los nodos de la red OTN en caso de rotura de una de las dos fibras mantienen el camino de las tramas TDM, por el anillo de reserva. En este proceso de configuración y activación, hay un periodo muy corto de tiempo en el que la red no está operativa, del orden de 10 segundos (para la activación del anillo) y de 100 ms (para la reconfiguración).

2) Configuración de doble anillo lógico: Las redes con topología lógica de anillo, tienen el inconveniente de una posible caída de toda la red, mientras en el caso de la configuración de red de doble anillo, existe un camino alternativo por donde conmutar los paquetes, mediante el mecanismo de activación de las tarjetas propias de OTN.

3) Acceso directo a la red: OTN garantiza el acceso directo a la red en cualquier momento, evitando los tiempos largos de espera y permitiendo aplicaciones en tiempo real.

4) Ancho de banda garantizado: OTN proporciona la combinación de ancho de banda fijo requerido o tasa constante de bits, para el tráfico en tiempo real y el tráfico de paquetes IP del servicio proporcionado.

3.2.2.3 Elementos

Nodos OTN

A la red óptica de transporte, se le pueden incorporar cualquier número de nodos de red, en función de los servicios que se quieran proporcionar. En nuestro caso, al utilizarse la red como un sistema distribuido multimedia, la elección de los nodos se ha hecho en base a las características de transmisión de los elementos del sistema de vídeo integrado, con el objetivo

de aprovechar las ventajas técnicas de dicha tecnología. A continuación, se describen los nodos de red incluidos en el sistema de vídeo, en base a las hojas de características del fabricante OTN-Systems incluidas también al final de este documento.

Nodo OTN-N415

El nodo OTN-N415 consiste en un chasis montable en rack de 19" en el que se pueden insertar tarjetas de lógica común BORA, diseñadas para redes ópticas como el tipo de red OTN-X3M-622, combinando de este modo datos de voz, vídeo o audio por una red de distribución basada en IP. En el caso concreto del modelo exacto de nodo OTN-N415 elegido, es importante mencionar que este es compatible además con las redes ópticas del tipo OTN-X3M-622, lo cual era nuestro objetivo en términos de ancho de banda o tasa máxima del sistema completo por lo que se decide utilizar este tipo de nodo de red tanto para la parte del sistema de vídeo (la cual se encarga de grabar las imágenes y comprimirlas, como en la parte de administración desde la cual se visualiza el vídeo. Este equipo de red, tal y como ya se ha comentado anteriormente, cuenta con múltiples ranuras de interfaz: dos ranuras de interfaz de baja velocidad (para voz y datos hasta 36 Mbps) y dos ranuras de interfaz de alta velocidad (para vídeo y Ethernet hasta 196 Mbps). Todas ellas, admiten cualquier combinación de diferentes tipos de tarjeta de interfaz. En particular, la capacidad máxima total a la que puede accederse a través de las tarjetas de interfaz de un nodo es de 784 Mbps (4x196 Mbps).

En este tipo de nodos, pueden insertarse distintas tarjetas BORA de lógica común, en el caso que se quiera interconectar distintos anillos lógicos, en combinación con el módulo de enlace universal BORA ULM (*Universal Link Module*). En nuestro caso, tanto en el nodo 1 como en el nodo 2, los equipos del sistema CCTV se interconectan mediante cable UTP Cat5e a los puertos serie de los nodos, de tal manera que únicamente se requiere la inserción de una tarjeta de lógica común BORA (modelo BORA622-X3M-4), para cumplir con los requisitos de la distancia, y una tarjeta de interfaz Ethernet (modelo ET100), para permitir las conexiones de los distintos equipos de vídeo (medio guiado compuesto por dos cables). La siguiente figura muestra el aspecto del nodo OTN-N415:



Figura 11: nodo OTN-N415 (Ref. [anexo])

Nodo OTN-N42C

El nodo N42C tiene el mismo tipo de ranuras de interfaz que el anterior y contactos de entrada/salida para la emisión del vídeo digital a través de la red OTN-X3M-622. En nuestro caso, se ha elegido incorporar este nodo a la red de transporte OTN, ya que se quería incorporar el módulo de gestión de red OMS. En concreto, al nodo OTN es necesario incorporarle una tarjeta BORA (modelo BORA622-X3M-4), para la activación del anillo y sincronización de tramas TDM, y una tarjeta de interfaz Ethernet (modelo ET100AE), compatible con la velocidad de transmisión de la red OTN.

Además al nodo o estación de red descrita (al igual que el resto de nodos de la plataforma) necesitan incorporar por un lado tarjetas de comunicación serie tradicional para recibir y enviar tráfico con el equipo de gestión de vídeo o VMS (modelo RSXMM) a la plataforma OTN, y por otro lado el uso de tarjetas de codificación o compresión de vídeo compatibles con el estándar de AVC H.264. Más adelante se presentan las características generales de las tarjetas que se requieren para el correcto funcionamiento del sistema completo.



Figura 11: nodo OTN-N42C (Ref. [anexo])

Tarjetas de interfaz

Tarjetas de interfaz Ethernet

Para la emisión del vídeo y datos capturados por las cámaras de red, como es necesario el uso de tarjetas Ethernet en las ranuras de los nodos OTN, de manera que dichos elementos se puedan conectar directamente a los nodos de la red. Es decir, funcionalmente, la red actúa finalmente como una matriz de vídeo, proporcionando un servicio de videgrabación en red. En nuestro caso, es necesaria la inserción de tarjetas Ethernet del tipo ET100, para el caso de los nodos N415, y tarjetas del tipo BORA622-X3M-4, para el correcto funcionamiento del sistema propuesto.

Tarjetas BORA

Con la tecnología OTN es posible transmitir las tramas TDM, sin cambiar la señal original, de modo que los nodos de red, además de realizar las funciones básicas de inicio y reconfiguración, generan tramas de sincronización que todos reciben, de manera que todos los nodos se sincronizan con un nodo principal, que es quien comienza la transmisión de las tramas por el anillo. Debido a la existencia del nodo principal N42C, como el mecanismo existente de sincronización de bits en las trama OTN-X3M, es posible insertar tarjetas específicas de la tecnología, que se encargan de realizar dichas funciones lógicas de conmutación de datos, ya sea del vídeo procedente del sistema CCTV, como los datos del módulo de gestión de red OMS, descrito en la siguiente sección. En nuestro caso, al ser dos fibras de 600 Mbps, se propone el uso de tarjetas BORA622-X3M-4.

Tarjetas Serie

Aparte de las tarjetas de lógica común descritas, es necesario el uso de tarjetas RSXMM (conexiones multipunto), de manera que es posible la retransmisión de alarmas o notificaciones. Es decir, este tipo de tarjetas se utilizan en general para separar las distintas interfaces donde se tenga la necesidad de transmitir todo el tráfico de manera completamente transparente para los niveles más altos, pues internamente funcionan como las tarjetas Ethernet ya descritas (consultar Anexo).

Tarjetas de compresión de vídeo

Tarjetas de codificación de vídeo avanzada H.264

Por último, vamos a detallar que para que el sistema de vídeo en red funcione, es necesario el uso de tarjetas de transmisión de vídeo H.264 las cuales permiten comprimir el vídeo mediante los estándares de compresión MPEG2-4, de modo que se consigue proporcionar una alta calidad de vídeo, usando para ello conexiones de datos entre 56 Kbps y 10 Mbps. En la práctica, normalmente se opta por conexiones de datos de 2 Mbps que luego se utilizan de manera simultánea para definir los distintos canales independientes por donde se comprimen los datos y se transmite el vídeo, aunque esto depende exactamente de otros parámetros de los equipos específicos que componen el sistema de vídeo, tal y como ya se ha explicado en la sección correspondiente al módulo de grabación de vídeo.

Módulo de Gestión de Red

La tecnología de red óptica OTN proporciona una plataforma de gestión de red integrada y centralizada, de manera que es posible tener una visión global del tráfico de red y tramas OTN-X3M o datagramas TDM sobre IP. Esta funcionalidad es posible mediante un elemento específico de OTN, denominado OMS (*OTN Management System*), que básicamente consiste en un cliente software que se conecta a uno de los nodos de la red OTN, y refleja información detallada del estado de los distintos equipos o aplicaciones integradas a los nodos. Por ejemplo, si uno de los equipos conectados al anillo deja de funcionar, el cliente recibe la información y la muestra por pantalla. En concreto, este proceso de virtualización de interfaces red, es posible porque el software de monitorización OMS utiliza para ello el

protocolo de gestión de red SNMP. Para consultar más detalles acerca de la estructura o lenguajes de programación que se utilizan, se recomienda consultar el anexo incluido al final de esta memoria.

En nuestro diseño de red concreto OTN-X3M, su principal ventaja reside en la detección automática y reconfiguración de los nodos de la red óptica, ante posibles fallos en el sistema, de manera que es posible la detección de fallos en una de las dos fibras que conforman el anillo óptico como funcionalidad extra aparte de permitir controlar y seguir el funcionamiento de la red. Es decir, la tecnología propietaria OMS resulta muy rentable ya que normalmente no se suele incluir ambas funcionalidades en un único paquete o producto software de gestión de red, hasta el punto de que la integración de la aplicación al nodo OTN-X3M N42C se puede resumir como un software que permite transferir con seguridad por la red y modificar electrónicamente los puntos remotos físicos conectados.

Por lo general cuando se realiza una inversión en un sistema de comunicaciones que requiere costes elevados y un proceso de instalación y mantenimiento relativamente también costoso se emplea la versión del paquete del programa más amplia y actual de modo que los elementos básicos del proceso de digitalización elegidos: cámaras de red y codificadores de vídeo, los cuales son los recursos más importantes de para proporcionar tanto la funcionalidad integrada de detección de movimiento por vídeo como poder capturar con claridad en la aplicación de gestión o producción multimedia una alta calidad de imagen, en línea con la evolución del producto de red. En el anexo incluido, en la parte relevante a la red óptica OTN e interfaces de red, se ha incluido la especificación técnica del paquete software en cuestión, el cual nos ha parecido que tiene una arquitectura y modo de distribución de comandos que se puede integrar fácilmente con al modelo de red elegida, además de cumplir con la funcionalidad que se quiere cubrir.

Finalmente en la siguiente figura se puede observar como la red es capaz de conmutar las tramas transmitidas, en caso de fallo en el anillo óptico activo en ese momento, en base a la información almacenada en el equipo que tiene el rol de agente SNMP donde residen los objetos gestionados con los datos concretos asociados a las cámaras de vigilancia y codificadores de vídeo conectados a la plataforma OTN-X3M.

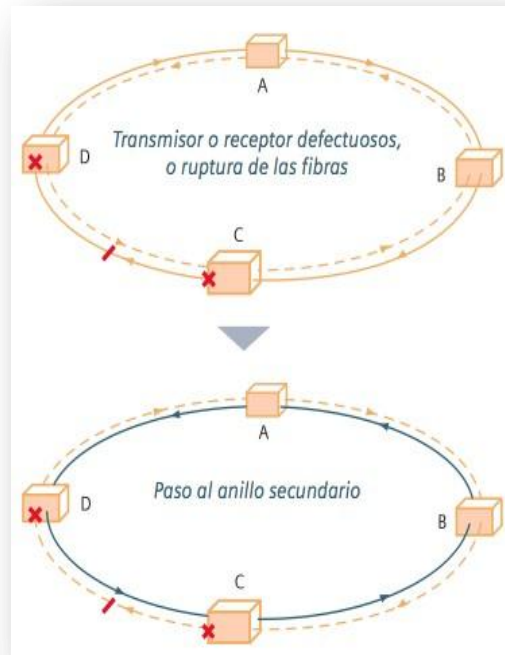


Figura 12: funcionamiento de anillo óptico
(Ref. [especificación principal de red de transporte OTN])

Asimismo el sistema OMS permite incorporar un servicio telefónico (con PBX) y obtener información detallada de posibles alarmas (en el caso de existir elementos de audio integrados) mediante el lenguaje de programación CORBA y comunicación serie (interfaces serie RS-485 o RS-232). En nuestro caso, hemos elegido para el diseño conexiones serie del tipo RS-232, dado que dicha tecnología permite trabajar a mayor velocidad (según la tarjeta de interfaz serie RSXMM y DVR incluidos, a unas velocidades de 100 Kbps y 230 Kbps), y además es compatible con la totalidad de equipos del sistema CCTV integrado. Más adelante se detalla cómo es posible el uso de este tipo de tecnología de comunicación serie, en una red OTN-X3M como la que se propone. En resumen, el agente SNMP de la red OTN permite transmitir y obtener información de posibles alarmas de la red OTN-X3M a otras redes integradas, comúnmente basadas en Ethernet.

Switch Gigabit

Para compartir la red OTN-X3M como plataforma multimedia mediante el uso de enlaces *Fast Ethernet* con una tasa máxima de 622 Mbps, es necesario incluir en el diseño del sistema un *switch* de vídeo compatible con los protocolos de nivel de enlace descritos en el Capítulo 2 y que además se encargue de la provisión de un servicio de datos multimedia con capacidad de encaminamiento multicast (algoritmo lógico PIM-SM). Esto es, el hardware de red elegido para los nodos o estaciones de la plataforma OTN-X3M se caracteriza por la

posibilidad de inserción de tarjetas en función del tipo de aplicación que se integra o necesita, pero dado que en nuestro caso se trata de un único anillo óptico con una aplicación de TV en circuito cerrado con tecnología de compresión de vídeo avanzada y priorización de tráfico dependiente del proveedor o fabricante de equipos, se decide incluir *switches* de vídeo que además de permitir las técnicas descritas sean capaces de tratar las tramas de vídeo como datagramas IP.

En resumen, independientemente de que la plataforma proporcione un modo de comunicación determinista y sincronización de tramas en modo SDH, a nivel de aplicación los extremos del sistema propuesto (módulo OMS y equipo de gestión y visualización de vídeo) parece razonable que los únicos usuarios que deben estar autorizados a la transferencia de eventos y recepción de vídeo del sistema CCTV pertenezcan a un mismo grupo a nivel 3 y compartir de este modo una misma dirección IP como medida de seguridad.

Además, dado que la integración de la aplicación en la plataforma puede producir múltiples flujos a lo largo de la red y se trata de una tecnología de coste elevado de instalación y mantenimiento. Por ejemplo, el MTBF de cualquier equipo de una red OTN tiene un valor específico de 11 años. Y en cuanto a la provisión de capacidad de encaminamiento multicast en los equipos de red que reenvían los paquetes de vídeo por la infraestructura interna de la plataforma, supone una garantía de una gran QoS. Es decir, en comparación con otros servicios multimedia estándar como son las aplicaciones de *streaming* de vídeo o de videoconferencia, las aplicaciones de TV en circuito cerrado requieren un uso ininterrumpido del mismo, ya que estos sistemas de vídeo en red están pensado exclusivamente para entornos donde las condiciones y restricciones de seguridad definidas suelen ser del orden de 30 días y 24 horas al día en funcionamiento normal. Finalmente, en la siguiente figura se puede observar el aspecto del equipo del *switch* Gb. Ethernet elegido para el encaminamiento de las tramas de vídeo a lo largo de la red OTN-X3M en este proyecto.



Figura 13: switch Gb. Ethernet, modelo Huawei S3326C-HI (Ref. [anexo])

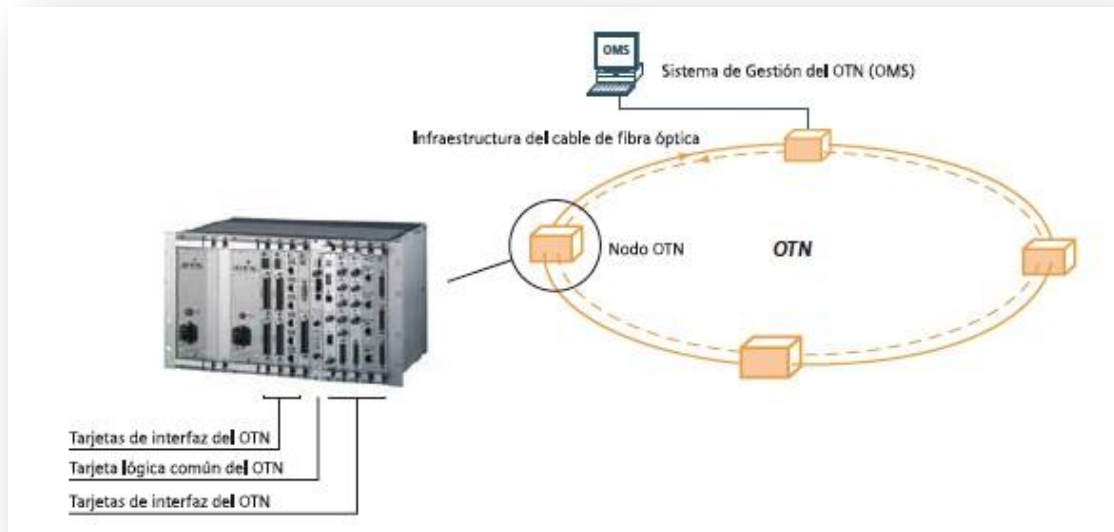
Además, como justificación de que el equipo escogido es válido para el transporte de tráfico IP anteriormente descrito, se incluye una tabla resumen con el listado de estándares soportados pues tal y como se dijo en el Capítulo 2, RTSP no define cómo se encapsula el vídeo que se transmite a través de la red y aunque en nuestro caso concreto se utilice un protocolo propietario para el almacenamiento en buffer, el funcionamiento general de la infraestructura de red OTN requiere este tipo de equipo de modo que se pueda realizar las funcionalidades de vídeo inteligente, VMD y manipulación de las cámaras adecuadamente.

Item		Análisis de Características
Port	100-Mbit/s port	24 PUERTOS 10/100Base-T (S3328TP-EI, S3328TP-PWR-EI, S3328TP-EI-MC)
		48 puertos 10/100Base-T (S3352P-EI/S3352P-PWR-EI)
	S3328TP-EI port	24 PUERTOS 10/100Base-FX (S3328TP-EI-24S)
		2 PUERTOS 1000Base-X y 2 PUERTOS 1000Base-T (S3328TP-EI)
		2 PUERTOS 1000Base-X y 2 PUERTOS 1000Base-X (S3352P-EI)
Tasa de envío		9.6 Mbps (S3328TP-EI) 13.2 Mbps (S3352P-EI)
Tasa de conmutación		12.8 Mbps (S3328TP-EI) 17.6 Mbps (S3352P-EI)
Velocidad de backbone		64 Gbit/s
Tabla de direcciones de nivel 2		Soporte de 16 K de entradas Soporte de aprendizaje automático de direcciones Soporte de direcciones MAC estáticas, dinámicas y blackhole Soporte de filtrado de paquetes basado en MAC origen
Características de VLAN		Soporte de VLANs de hasta 4.096 Soporte de VLANs 802.1X, de voz y super VLANs Soporte de asignación de VLAN basado en direcciones MAC, protocolos y subredes IP Soporte de VLAN en modo básico "QinQ" y "QinQ" selectivo Soporte de switching 1:1 y N:1
Fiabilidad		Soporte de topología en anillo RRPP, interconexión de anillos y topología multi-instancia Soporte de topología en árbol "Smart Link" y topología multi-instancia "Smart Link" Soporte de STP, RSTP y MSTP Soporte de protección de tramas BPDU, protección como root y protección en bucle Soporte de SEP Soporte de BFD para OSPF, BFD para IS-IS, BFD para VRRP y BFD para PIM
IPv4		Soporte de encaminamiento con RIP v1, RIP v2 y ECMP Soporte de OSPF, IS-IS y BGP

Tabla 6: Soporte de especificaciones del switch de vídeo (Ref. [anexo])

Finalmente, la siguiente imagen muestra la arquitectura a alto nivel del sistema de vídeo en red propuesto, de manera que el módulo de gestión de red OMS, se instala

únicamente en el nodo N42C, el cual tiene más ranuras de interfaz que el resto, pues está pensado para la integración con otros anillos ópticos.



*Figura 14: Arquitectura de la plataforma OTN
(Ref. [especificación principal de red de transporte OTN])*

En esta figura se puede observar que efectivamente se trata de una infraestructura de red óptica y que la red de transporte es independiente del protocolo de transporte de modo que la transferencia de contenido viene definida por el tipo de nodos de red empleados. En nuestro caso, hemos elegido un tipo de plataforma OTN específico y reducido dentro de toda la serie de equipos que se pueden utilizar.

3.3 Justificación del diseño

Tras citar las características específicas de los equipos que forman parte de la red CCTV, protocolos y estándares soportados (ver sección 2.5), proporcionando así las funciones básicas de un sistema de transmisión de video en red: codificación, almacenamiento, gestión, grabación y visualización.

A continuación, se describe en detalle las interfaces de comunicación existentes en el diseño, con el objetivo de que se entienda cómo es posible administrar el vídeo capturado por las cámaras IP, y el sistema en general (nodos de red), interconectando los distintos elementos del sistema CCTV a los nodos OTN, mediante conexiones serie, y decisiones del diseño propuesto, proporcionando así un servicio de vídeo en red de altas prestaciones. Es decir, los nodos son capaces de reducir el retardo total de las secuencias de vídeo capturadas

por las cámaras, a nivel de trama, gracias al sistema de almacenamiento temporal y al uso de tarjetas lógicas BORA propias de la tecnología OTN, independientemente del tipo de codificación que se haya utilizado en cada punto del sistema de vídeo en red. Esto es, antes de insertar las tramas OTN-X3M en el anillo, como se realizaría en el caso de los protocolos de transporte multimedia RTP/RTCP.

En el caso de la red **OTN622-X3M**, internamente las tramas TDM tienen una duración de 31.25 μ s (cada bit en una trama corresponde a un ancho de banda de **32 Kbps**) y contienen 18.432 bits. Este último dato, número de bits por trama, es importante ya que determina el máximo teórico de las distintas conexiones individuales que pueden configurarse simultáneamente en la red OTN.

Funcionalmente, cabe mencionar que dichas tramas se transmiten tanto en el anillo primario de la red óptica como en el anillo secundario (de respaldo) cuando se produce alguna rotura de cable (ver Anexo A), a una velocidad máxima disponible de 784 Mbps, siendo dos la cantidad mínima de tramas X3M en el anillo, independientemente de la cantidad de nodos o de la duración del recorrido óptico.

Por otro lado, cabe mencionar que SDH sólo utiliza la fibra óptica como mero medio de transmisión y toda su funcionalidad se implementa en el dominio eléctrico, es decir, mediante SDH no será posible conseguir redes totalmente ópticas, de tal manera que el ancho de banda proporcionado lo determina los nodos de la red OTN que se encargan de insertar las tramas X3M. Es decir, internamente la tecnología SDH se basa en transmitir tramas de tamaño constante, de manera que es posible la transmisión de tramas X3M, que contienen el vídeo capturado por las cámaras, proporcionando así un ancho de banda uniforme.

Además, otro de los aspectos que se ha tenido en cuenta en el diseño de la red de transporte óptica OTN, es la necesidad de gestión de flujos multimedia y posibles pérdidas de paquetes, de manera que se garantice la transmisión síncrona de los paquetes IP que transportan el vídeo digital. Por esta razón, se eligen las cámaras IP descritas al inicio de este capítulo, en combinación con el DVR mencionado, de tal manera que se permite procesar las secuencias de vídeo las cuales tienen la capacidad de procesar las secuencias de vídeo que le llegan.

En resumen, la tecnología OTN permite asignar conexiones lógicas independientes (configuración de doble anillo óptico) conmutando los paquetes IP que le llegan, almacenando los flujos multimedia que le llegan a los nodos OTN, pues la comunicación es en dos sentidos: desde las cámaras a los nodos, y desde el OMS a las cámaras, utilizando además el codificador

H.264 descrito, el cual permite comprimir el vídeo en los distintos canales requeridos. Además, de manera adicional, dado que existen retrasos en el proceso interno de activación del anillo lógico de la red OTN (incluido al final de esta memoria), se ha optado por un grabador de vídeo digital, que permite almacenar las imágenes comprimidas y digitalizadas, con la posibilidad de almacenar el vídeo con marcas temporales en función del canal individual utilizado y distribución posterior por la red óptica OTN con el objetivo de realizar una distribución mucho más rápida de manera que el retardo en recepción en el cliente de gestión y visualización de vídeo, dependa únicamente de la velocidad de transmisión del medio físico utilizado.

En nuestro caso, se elige fibra óptica monomodo, ya que esta tecnología de transporte óptica, está pensada para proporcionar servicios multimedia a larga distancia y se quiere minimizar los retardos de propagación introducidos por la red, de manera que se transmita el contenido multimedia de las cámaras utilizando los módulos de transceptores ópticos en modo SDH y tarjetas BORA, presentes en los nodos de red (ver Capítulo 3), en una red de banda ancha proporcionando conexiones ópticas del tipo OC-4c, con 252 canales o tributarios E1. A nivel físico, interfaces ópticas monomodo G.657B, con repetidores cada 2 Kms, tal y como se ha comentado anteriormente, en la sección de requisitos de interfaces externos. En concreto, las características de comunicación de la aplicación de vídeo, son las siguientes:

- **Tasa constante de transmisión de red óptica:** 622 Mbps
- **Tasa máxima transmisión de red óptica:** 784 Mbps
- **Codificación de señales de vídeo:** MPEG-4-Parte 10 (comúnmente H.264).
- **Grabación de imágenes:** MPEG-4 Parte 2 (comúnmente H.263).
- **Retardo de distribución de aplicación de vídeo:** el tiempo que emplea un paquete de vídeo en transmitirse entre un par de nodos OTN, es el resultado de la suma del retardo de transmisión de la trama TDM y el retardo de propagación, introducido por las tarjetas BORA, donde $t_{\text{paq}} = 2,3 \times 8 \times 32 = 588 \mu\text{s}$. Es decir:

$$t_{\text{tramaTDM}} = 4 \times (t_{\text{paq}} + 5 \mu\text{s/Km}) = 2,37 \mu\text{s/Km}.$$
- **Retardo del anillo:** en este caso, el retardo se calcula considerando el retardo introducido por los transceptores ópticos y el número de nodos del anillo, de manera que el retardo del anillo (para un recorrido óptico de 25 Km) en nuestro caso, quedaría de la siguiente manera: $\text{RD} = 3 \times 1,6 \mu\text{s} + L \times 5 \mu\text{s/Km} = 4,8 \mu\text{s} + 5.L = 129,8 \mu\text{s/Km}.$

- **Retardo total del anillo (*Jitter*) de aplicación de vídeo:** para el caso del retardo total del anillo, se calcula considerando que se transmite un número entero de tramas, en nuestro caso 4 tramas, y teniendo en cuenta que se recorren dos fibras. La fórmula para el retardo total del anillo es como sigue:

$$\text{TRD} = 62,5 \mu\text{s} + 4 \times 31,25 \mu\text{s} = 187,5\mu\text{s/Km}.$$

Internamente el funcionamiento de cualquiera de los nodos de red incluidos en la plataforma OTN, convierten la señal que reciben por el segmento serie (haciendo uso de un medio físico de cobre) a tramas X3M sobre interfaces de red LAN del tipo Ggb. Ethernet (con infraestructura de fibra óptica láser monomodo). Y por otro lado, el módulo adicional de gestión de red OMS, proporciona un servicio de monitorización de los nodos de la red óptica con la garantía de provisión de ancho de banda permanente a lo largo de todo el anillo. Esto, tal y como se ha detallado ya, se hace por hardware con el uso de tarjetas de lógica común o BORA (*Broadband Optical Ring Adapter*), las cuales proporcionan acceso desde el sistema de gestión (equipo gestor) presente en el OMS. En el anexo incluido, se describe en detalle la aplicación que utiliza este sistema de gestión de red, pues queda fuera del alcance de este proyecto el funcionamiento del mismo, aunque si el propósito y compatibilidad de protocolos con los que trabaja, como medida de diseño ante posibles fallos del sistema y cumplimiento de los valores de servicio que se necesitan para poder usar la red OTN como sistema distribuido o plataforma multimedia.

A continuación, se muestra una imagen donde se puede observar que todos los elementos de la aplicación CCTV se conectan por interfaces serie RS-232 a los nodos OTN de la red óptica de transporte, de manera que si se quisiera sustituir los nodos OTN por switches con salidas de fibra monomodo de 1 Gbps y puertos 100-Base-T, el cambio de arquitectura sería inmediato, ya que el medio físico que conecta los elementos de la aplicación CCTV, ha sido elegido a conciencia para que sea compatible con dicha configuración de red, mediante el uso de interfaces de red del tipo VLAN. Es decir, tras analizar y examinar al completo la documentación técnica específica de la plataforma.

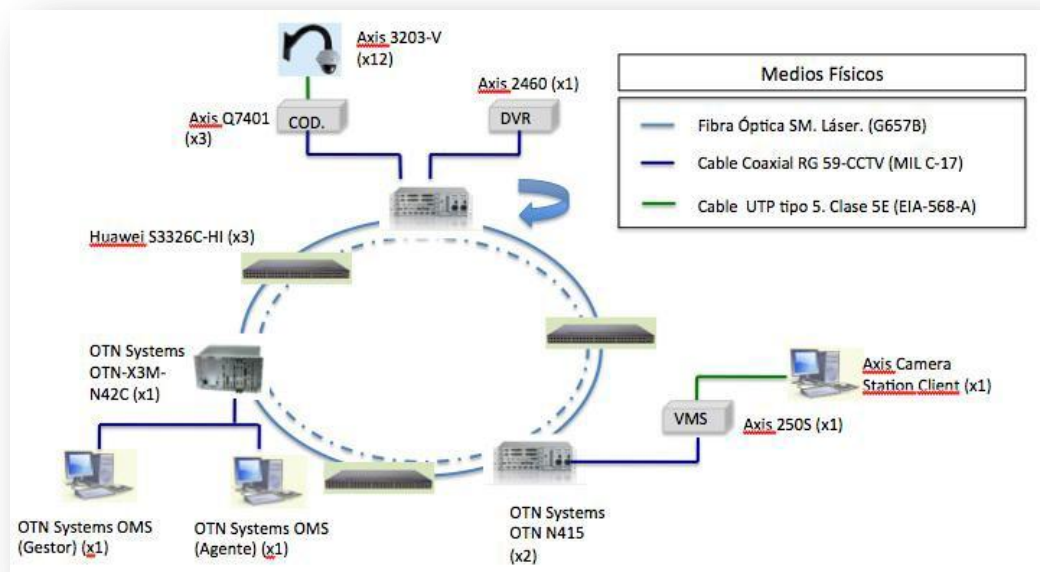


Figura 15: Esquema de conexiones de red para aplicación de vídeo en red

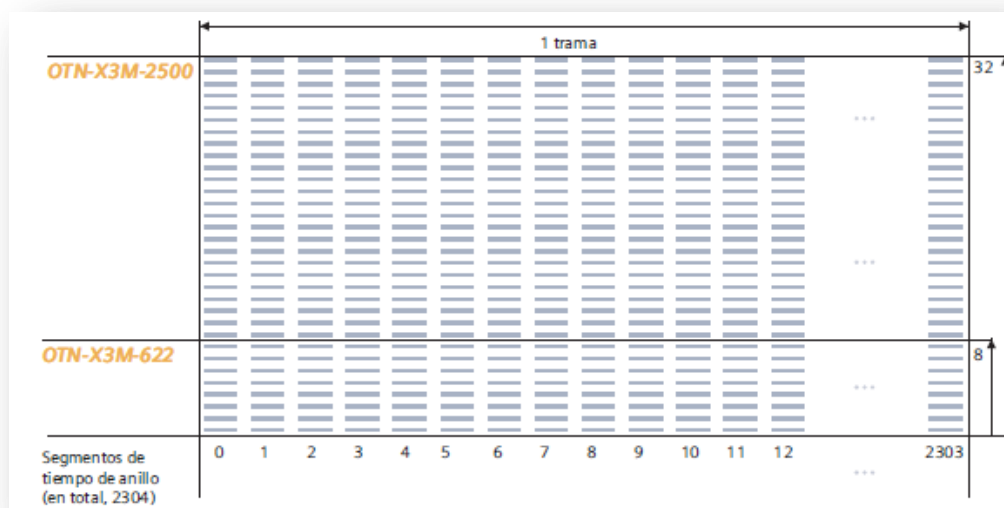
Es decir, en el primer caso sin nodos OTN capaces de procesar los datos de la aplicación, las tramas de cada módulo cliente descrito en la sección anterior, siguen teniendo las mismas características de tráfico pero el medio físico desaparece pues las conexiones se hacen por interfaces virtuales. Es decir, en este caso el intercambio de datos de la aplicación no se hace todo de forma automática y luego por IP, sino que se utilizan los puertos o salidas serie de *switches* de video, compatibles con el estándar VLAN 802.1Q.

Mientras que en la segunda configuración posible, la elegida para el diseño de red multimedia, se requieren líneas de transmisión serie para el procesamiento de datos de cada uno de los clientes, pues en este caso la transmisión no depende del acceso troncal de Ethernet, sino que se necesita solamente un conjunto de conexiones 100-Base-T para la agregación de las distintas redes LAN existentes, las cuales requieren transmisión *full-duplex* con dos caminos separados. Podrían utilizarse dos pares trenzados, pero se ha elegido fibra óptica monomodo (con tecnología láser) para utilizar la misma banda de frecuencia y proporcionar la misma velocidad de transmisión de manera ininterrumpida pues los nodos de la red OTN están diseñados para el uso en instalaciones industriales (Ejemplo: metro, tuberías, distribución de la electricidad, etc.) junto a la inserción de tarjetas de interfaz óptica para que la interpretación de tramas SDH sea posible. En este caso, las aplicaciones de gestión de video, grabación, visualización y monitorización se conectarán al mismo ECV multipunto, respetando los requisitos y el rango de ancho de banda, pues al multiplexarse las señales digitales en el dominio del tiempo se ha de tener en cuenta el ancho de banda que consume el tipo de

cámara elegido. Para ello, se suele tener en cuenta los dos siguientes **parámetros**: modelo de cámara (resolución de 4CIF y tipo de compresión H.264, para visualización) y almacenamiento para CCTV (grabador de video digital o DVR de 160 GB).

Por otro lado, es importante mencionar que a nivel físico la arquitectura de red o plataforma multimedia OTN permite la integración de aplicaciones, debido a que internamente todos los equipos se conectan por igual, ya sea en el primer modo de configuración con IP sobre *Ggb. Ethernet*, o bien, en el modo de funcionamiento que se propone en este diseño, que consiste en la compatibilidad de IP sobre SDH/Sonet. Es decir, para poder utilizar la red OTN como plataforma multimedia y provisión del servicio final de control, es necesario verificar los requerimientos a utilizar a nivel físico para provisión del servicio utilizando Ggb Ethernet. En concreto, según las propias recomendaciones del fabricante elegido para la red óptica OTN, pues es quien facilita el servicio de circuito cerrado de televisión en combinación con los distintos nodos de red e interfaces.

Antes de introducir los elementos de la red óptica de transporte OTN, se describe las características funcionales del servicio de vídeo en red propuesto. En primer lugar, dicho servicio se puede calificar como un servicio orientado a conexión **confiable**, en el sentido de que nunca se pierden los datos, pues los nodos de la red OTN tienen la capacidad de almacenamiento temporal de las secuencias de vídeo digitalizadas procedentes de las cámaras, sin necesidad de envío de mensajes de confirmación de recepción entre nodos, de manera que se garantiza la retransmisión ordenada de los mensajes multimedia, en el mismo orden en que se enviaron. Este concepto es importante, ya que la mayoría de aplicaciones multimedia de vídeo en red utilizan RTCP, el cual garantiza que lleguen todos los mensajes en orden (pues utiliza TCP como protocolo base de transporte), aunque no proporciona un mecanismo propio de garantía de retardo, pero si permite controlar el tiempo en recepción. Para aclarar el amplio uso de este tipo de redes ópticas y la estructura de tramas que circulan por el anillo, se incluye una imagen que lo aclara de manera detallada.



*Figura 16: Estructura de tramas de la red OTN
(Ref. [especificación principal de red de transporte OTN])*

En segundo lugar el hecho de que los nodos OTN utilicen el estándar TDM síncrono para la retransmisión de tramas de tamaño fijo, en concreto tramas SONET STM-4. En realidad la documentación técnica de los nodos OTN (anexo A), denomina a este tipo de tramas de datos tramas X3M cuando se incluye en el sistema un servicio de red OTN –X3M (en nuestro caso, con ancho de banda neto de 622 Mbps), aunque son totalmente equivalentes ya que se utilizan para provisionar el servicio de sincronización de los flujos de vídeo entrantes en cada nodo que compone la red OTN.

Por último, para facilitar la comprensión del funcionamiento del reloj interno, es necesario hablar de la estructura interna de las mismas tramas que contienen el vídeo. Es decir, el tipo de tramas exacto que se puede utilizar tanto para indicar el estado de un dispositivo gestionado como para el sistema CCTV o aplicación de TV en circuito cerrado. En particular, tras el análisis de la documentación proporcionada por Siemens, cada trama tiene 18.432 bits por canal, lo que implica que las conexiones lógicas entre nodos se hacen por secuencias de mensajes. Por tanto cuando un nodo inserta el número de tramas que en ese momento la red óptica permita, como mínimo dos y como máximo cuatro, se envían conservando el límite de las tramas (en nuestro caso, tramas STM-4, con un tamaño de carga útil o *payload* de 1044 Bytes).

En nuestro caso, el diseño del sistema de vídeo en red propuesto se trata de un sistema de “videovigilancia” a través de Ggb. Ethernet, transmitiendo el vídeo y los datos de forma continua y digitalizada a través de una red de transporte óptica, de manera que los elementos del sistema CCTV no están conectados en una misma LAN (típicamente con topología bus), sino que se incorporan a unos elementos a nivel 4, mediante el uso de tarjetas de interfaz y tarjetas de control del tramas STM-4 (según los requisitos descritos en el Capítulo 1) aportando así numerosas ventajas tecnológicas: configuración *plug-play* de los elementos del sistema CCTV incorporados a dicha red, establecimiento canales individuales para la transmisión del vídeo y los datos totalmente independientes, de manera síncrona y ordenada.

La tecnología de red óptica de transporte OTN está pensada para sistemas críticos, de modo que se ha llegado a implantar como solución tecnológica y plataforma de servicios multimedia. Esta tecnología de red de servicios multimedia, se ha llegado a implantar en dos escenarios reales en España en los aeropuertos de Madrid y de Palma de Mallorca, y dichas soluciones de seguridad, se diseñaron e implantaron por Tecosa, división de Seguridad de Siemens, en base a las necesidades de la red de *backbone* de comunicación y demás características de transmisión que requería el sistema de comunicación. En concreto, se amplió la red OTN de 600 Mbps a una red de altas prestaciones de 10 Gbps, mientras en el diseño presente se ha optado por un anillo óptico del tipo específico X3M, pues no se trata de una mejora técnica para una empresa cliente, sino que se trata de un nuevo diseño de sistema CCTV, haciendo uso de las características y compatibilidad de estándares que presenta la tecnología de red OTN (ver sección 3.2.1).

En la práctica, para funcionar de forma **sincronizada** y retransmitir las tramas X3M generadas por todas las estaciones de la red, se asocian a los distintos intercambios señales de reloj generadas por los propios dispositivos que suministran la sincronización mediante la inclusión de las tarjetas BORA las cuales suministran dicha funcionalidad mediante un sistema síncrono. Es decir, el proceso lógico que consigue la comunicación determinista reduce al mínimo el tiempo requerido para conseguir la comunicación mediante la técnica sencilla de mantener por cada flujo de vídeo un tamaño de trama de bits consecutivos de tamaño constante y sistema de gestión de servicios implementado en hardware que proporciona la fuente de reloj a cada dispositivo electrónico o equipo de terminación de circuitos de datos.

En particular, este proceso lógico se apoya en la existencia de las siguientes señales de temporización utilizadas en general en cualquier sistema síncrono de comunicación:

- **Reloj de referencia:** fuente de temporización maestra de un sistema síncrono.
- **Reloj de transmisión externa:** señal de sincronización de interfaz suministrada por un equipo de terminación de circuitos de datos (ETCD), con el fin de sincronizar la transferencia de los datos transmitidos.
- **Reloj del sistema:** fuente designada como referencia para todos los relojes de una red de dispositivos electrónicos, por ejemplo un multiplexor o un sistema de gestión de servicios de transmisión.
- **Reloj externo:** reloj o señal de sincronización de otro dispositivo, por ejemplo un módem puede suministrar una señal de sincronización externa.
- **Reloj interno:** señales de reloj generadas, por ejemplo las generadas por un módem.
- **Reloj maestro:** fuente de las señales de temporización, o las propias señales, que son utilizadas por todas las estaciones de una red para funcionar de forma sincronizada.

Asimismo todos los intercambios de tramas y retransmisión de señales digitales mencionadas se realizan empleando **repetidores digitales** consiguiendo insertar en el medio físico de transmisión empleado (fibra óptica monomodo de salto de índice) la regeneración de señales digitales enviadas por dicho medio.

Finalmente, se citan las características técnicas de implantación de un diseño similar, permitiendo la integración de aplicaciones de audio y vídeo, en un entorno real, en concreto en el Puerto de Palma de Mallorca, el cual dispone de casetas donde están instalados los nodos de la red OTN. Es decir, en dicho proyecto, muy similar al diseño presente en lo que a hardware y compatibilidad de estándares a nivel 2 se refiere, se optó igualmente por un diseño de red óptica OTN con configuración IP de manera que la red existente se simplificó enormemente con la adaptación de los nodos del anillo al ancho de banda requerido por la instalación industrial. En concreto, se cambiaron las tarjetas de interfaz ópticas de transmisión de datos, se mantuvieron las tarjetas de audio (pues en este caso la red OTN no se utilizaba únicamente como plataforma multimedia de *streaming* de video, sino que se quería que la instalación integrase más elementos de seguridad con el fin de aprovechar las ventajas de transferencia de información que permite este tipo de redes ópticas con las correspondientes capacidades en función de la configuración y calidad que se quiera prestar. A modo de experiencia y como ejemplo de utilidad aunque con contenidos y atributos distintos (modelos de red distintos), en este caso la transferencia de información en tiempo real se diseñó para la integración no solo de un sistema de vídeo sino de un subsistema de control de accesos o CCAA. En cualquier caso, ambos proyectos comparten el mismo tipo de red de distribución multimedia de manera que en ambos casos de estudio se quiere un sistema privado de comunicaciones con la necesidad de tecnologías dedicadas e implementación en hardware.

Por ejemplo, dado que con las redes OTN se proporciona siempre un flujo continuo de información que además es distribuido mediante un modo de transferencia de información de circuitos y que además se requieren conexiones multipunto para la multidifusión adecuada de tramas, se requiere para la correspondiente resolución de la información la inclusión de tarjetas de video.

Además, cabe mencionar que en este caso la empresa ganó el concurso principalmente porque los costes se vieron reducidos enormemente, dado que el hardware existente de la tecnología de red OTN se mantuvo. En concreto, se pasó de una red con 21 nodos, a una red de 8 nodos, lo que reducía también el coste de mantenimiento de la instalación de los distintos nodos y equipamiento CCTV. Respecto a los equipos del sistema CCTV, en este caso se optó por un diseño algo distinto al expuesto aquí, dado que se requería la integración con un sistema de control de accesos o CCAA. En cualquier caso, se elige el fabricante intentando que la integración del software de ambos módulos sea lo más homogénea posible y en dicho diseño se optó por el fabricante BOSCH que también ofrecía equipos con las mismas prestaciones, en base a los criterios de diseño impuestos por el cliente. Posteriormente se realizan pruebas de integración de ambos sistemas, incluida la electrónica de red, con un plazo máximo de ejecución de 3 meses.

En nuestro caso, al tratarse de fabricantes distintos así como modelos de nodos diferentes y un número de nodos menor, no se incluye un anexo de pruebas, pero cabe destacar que aun siendo diseños con provisión de servicios y requerimientos de configuración de red distintos, internamente el funcionamiento del sistema de transmisión y recepción de señales de la red óptica viene a ser el mismo, pues se utilizan exactamente las mismas tecnologías de transmisión y los equipos del sistema CCTV utilizan el mismo tipo de cámaras y comunicación, aunque no exactamente los mismos estándares de compresión de imágenes.

Por último, es importante señalar que para el correcto funcionamiento de la red OTN e integración con cualquier aplicación multimedia y re-transmisión de datos, es necesario la inclusión de un *switch* entre los distintos nodos de red con capacidad de conmutación de 1.000 Mbps de las distintas redes LAN Ethernet del sistema CCTV, pues tal y como se ha explicado en el capítulo introductorio de la presente memoria, en el contexto de aplicaciones críticas de seguridad se requieren aplicaciones de muy alta velocidad con funcionamiento ininterrumpido de la plataforma.

Es decir, a nivel de aplicación se trata de módulos software con interfaz Web, que internamente se conectan de manera remota al servidor que contiene la información de los sistemas subyacentes, aunque no es objetivo del proyecto presentar el funcionamiento de dichos clientes pues está fuera del alcance del proyecto, pues la alumna participó como técnica en el diseño de red, descripción de los equipos técnicos y obtención de precios asociados a cada uno de los equipos a partir de los requerimientos del ancho de banda comentados.

Como extensión y para mayor claridad del funcionamiento a nivel de aplicación, se incluye un anexo que describe de manera bastante clara el aprovisionamiento del servicio de monitorización de red y posibles configuraciones de las respectivas estaciones de trabajo (Capítulo 5 del documento), pues se trata de una tecnología de red de un coste elevado y se considera que el módulo de monitorización del estado de los nodos de la red es un factor a tener en cuenta a la hora de utilizar la tecnología de red OTN, independientemente de las características de la instalación industrial.

Capítulo 4

Presupuesto

4.1 Presupuesto del proyecto

En este capítulo se presenta justificado el presupuesto de la realización de este proyecto fin de carrera. Para poder elaborar el presupuesto, primero se han identificado cada una de las fases en las que se divide el proyecto. Para cada fase del proyecto se considerarán los recursos humanos utilizados, así como también los recursos materiales empleados (entendiendo como tales, equipos informáticos, material de oficina, etc.).

Cabe mencionar que el fin de la memoria económica de este proyecto no ha consistido en la estimación de costes totales de la implantación del mismo, aunque si se ha tenido presente siempre el objetivo de optimizar los costes totales de equipamiento, pues el alumno ha considerado las distintas alternativas de fabricantes del tipo de aplicaciones de TV en circuito cerrado o sistemas CCTV.

Finalmente, con estos datos se presentan las siguientes tablas con el objetivo de aclarar las personas que han intervenido en el seguimiento del mismo y comprender la planificación (total de horas) para abarcar el análisis, diseño y documentación del proyecto para lo cual se han hecho uso de algunos costes básicos asociados a esta última fase de generación de documentación. En resumen, las fases que ha supuesto el desarrollo del proyecto y las personas que han intervenido en el mismo: la alumna en el diseño del sistema propuesto, y el tutor en el seguimiento y supervisión del mismo.

	Horas empleadas	Precio/Hora (euros)	Importe (euros)
Tutor académico	70	90	6.300
Estudiante de Ingeniería	1.050	25	26.250
TOTAL			32.550

Tabla 7: Costes personales del proyecto

Fase	Precio/Hora (euros)	Semanas empleadas	Horas empleadas
Fase 1: análisis de tecnologías y funcionalidades en sistemas de gestión de vídeo	25	6	210
Fase 2: estudio de capacidades de equipos para sistemas digitales en interiores (fabricantes)	25	6	210
Fase 3: análisis de estándares para integración de sistema de vídeo en red completo con OTN	25	6	210
Fase 4: desarrollo del diseño del sistema completo	25	6	210
Fase 5: generación de documento	25	8	280
TOTAL			1.120

Tabla 8: Costes personales del proyecto

Para cada semana, se ha considerado una media de 7 horas al día durante 5 días a la semana, por lo que se contabilizará cada semana como 35 horas de trabajo. Además, se ha estimado para cada fase, un precio/hora correspondiente al perfil mínimo necesario para la elaboración de las tareas. En detalle, el ingeniero proyectista ha empleado un total de 1.120 horas (aproximadamente, 8 meses) y el tutor del proyecto un total de 70 horas (2 semanas).

Como nota aclaratoria, dado que la documentación del fabricante Axis resultaba bastante fácil de utilizar y completa en términos de calidad de servicio (capacidades multimedia), se ha reducido y centrado el análisis al conjunto de equipos de un único fabricante descartando a otros fabricantes también conocidos a partir de las prácticas en empresa realizadas.

Y finalmente, en cuanto al presupuesto necesario para el desarrollo de este proyecto y diseño del sistema final, se ha tomado como necesario el uso de una herramienta de redacción de documentación y un ordenador portátil con capacidad de mantener protegida la documentación de forma razonable y cómoda, utilizando para ello una máquina virtual y conexión a Internet, necesaria para la consulta de las distintas referencias bibliográficas utilizadas.

Recurso	Precio (euros)
VirtualBox v4.2.12: software para máquina virtual	0
MS Office 2010: herramienta para generación de documentación	90
Mac Book Pro: ordenador portátil para instalación de software y conexión a Internet.	1.100
TOTAL	1.190

Tabla 9: Costes materiales del proyecto

Capítulo 5

Conclusiones y líneas de trabajo futuras

5.1 Conclusiones

Una vez concluidas todas las tareas que forman este proyecto fin de carrera, es el momento en el que se puede hacer balance y crítica de las conclusiones extraídas, tras los la descripción de requisitos técnicos descritos al inicio de este proyecto fin de carrera:

1) La red de transporte se comporta como una matriz de vídeo integrada y distribuida a nivel 2, de manera que internamente la red establece circuitos virtuales, en función de las peticiones de caudal que le llegan por cada una de las interfaces fijas, existentes en los nodos.

2) Los sistemas de vídeo en red, con capacidades de almacenamiento y grabación son sistemas que requieren el uso combinado de técnicas de codificación, sincronización, compresión y multiplexación para que la comunicación en tiempo real sea posible. Es decir, para que la calidad del servicio ofrecido sea óptima, el medio físico debe adecuarse al ancho de banda de este tipo de retransmisiones, de manera

que las pérdidas en el dominio de la frecuencia sean lo más pequeñas posibles. Se concluye así, que la atenuación de la FO de los enlaces que forman la red óptica, debe adecuarse por un lado a las distancias de los enlaces, y por otro lado, al tipo de señalización soportado por los nodos de la red.

3) La técnica TDM para redes troncales síncronas, supone una técnica interesante para redes LAN (o VLAN) donde se transmiten y encaminan tramas donde la reserva de circuitos, se establece en función de la disponibilidad de dichos enlaces y tratando la información en flujos independientes, permitiendo conmutar los flujos de vídeo por el anillo óptico disponible. Es decir, el hecho de establecer un canal de conexión, antes de que comience la transmisión de dichos datos, supone una solución muy inteligente para este tipo de aplicaciones, donde no se toleran retardos de ni siquiera segundos, y la conmutación de circuitos tradicional puede suponer bastante ineficiente.

4) Los nodos son capaces de reducir el retardo total de las secuencias de vídeo capturadas por las cámaras, a nivel de trama, gracias al sistema de almacenamiento temporal y la aplicación de tarjetas lógicas BORA propias de OTN, independientemente del tipo de codificación que se ha utilizado para la compresión del vídeo, antes de insertar las trama TDM en el anillo, como se realizaría en el caso de los protocolos de transporte multimedia RTP/RTCP.

5) Se concluye que las redes OTN, en combinación con nodos específicos de la Tecnología o hardware específico OTN-X3M, resultar ser una buena plataforma de servicios multimedia cuando la aplicación de usuario que se integra tiene altos requisitos de disponibilidad de la aplicación o servicio que se quiere proporcionar, de manera que no se permiten retardos elevados en recepción.

6) El módulo de gestión de gestión OMS, encargado de supervisar y controlar el tráfico de las interfaces Ethernet y resto de conexiones procedentes de los nodos OTN y servicios virtuales asociados (mediante interfaz remota), supone un módulo de software interesante cuando se quiere información específica de la aplicación integrada a la plataforma, en nuestro caso mediante el protocolo PIM-SM y SNMPv3.

7) La integración del módulo de monitorización OMS es totalmente adicional para el correcto funcionamiento de la red, pero dadas las capacidades técnicas de los elementos básicos de la aplicación de usuario de vídeo en red, normalmente denominado sistema CCTV.

8) A parte de la transmisión de datos y de vídeo digital, la red de óptica OTN es capaz de dar soporte a distintos servicios, en nuestro caso los siguientes servicios: videgrabación, “videovigilancia” y monitorización o administración de red.

5.2 Líneas de trabajo futuras

En esta última sección, se proponen dos posibles líneas de estudio y diseño futuras, en base a las ventajas técnicas encontradas en el conjunto de protocolos involucrados y la tecnología de red de transporte óptica OTN:

1) Diseño de una arquitectura de red, con integración de un servicio de control de accesos, megafonía y alarmas, pues la documentación específica de OTN, describe que se pueden integrar elementos de audio a los nodos OTN, de manera que se puedan transmitir alarmas internas de la red (Por ejemplo: sirenas o luces de advertencia), a dispositivos de alarma como señales acústicas o visuales.

2) En el diseño presente se utiliza la técnica TDM, dividiendo el tráfico multimedia en *Time-Slots* para la transmisión eficiente de las tramas de vídeo con el menor retardo de transmisión, en combinación con las tarjetas BORA propias de OTN. Pero dado que los elementos incluidos soportan el protocolo IPv6, el cual permite identificar los flujos multimedia (campo *Traffic Class*) de forma independiente, se propone el diseño de una arquitectura de red óptica OTN similar, de manera que el sistema final del puesto de control pueda visualizar igualmente varios canales de vídeo, incluyendo switches entre los nodos de la red óptica, con soporte del protocolo de nivel 2 RSTP (*Rapid Spanning Tree Protocol*), de manera que sería posible una configuración múltiple de varios clientes remotos en el módulo del servidor OMS.

3) El códec o estándar de compresión de audio/vídeo MPEG-4 Part 2 es compatible con H.263 en el sentido de que un tren de bits (*bitstream*) basado en H.263 es decodificado por un decodificador de vídeo MPEG-4, de manera que se podría hacer un trabajo relacionado a partir de los datos proporcionados en este proyecto.

Glosario

AVC. Codificación de vídeo avanzada.

B-frames. Frames bidireccionales. Incluyen muy poca información del frame, contruyéndolo a partir de los datos de los frames I y P.

BORA. Tarjeta de lógica común de red OTN que permite adaptar el ancho de banda del anillo óptico. En inglés, *Broadband Optical Ring Adapter*.

CBC. Unidad de cifrado por bloques (en inglés, Block Cipher) que opera en grupos de bits de longitud fija, llamados bloques, haciendo uso de un algoritmo de cifrado de clave simétrica.

CCTV. Un sistema de circuito cerrado de televisión se puede resumir como un conjunto de equipos que permite tener controlada, respondiendo a automáticamente con acciones como la grabación de vídeo y el envío de alertas. En inglés, *Closed Circuit Television*.

CBR. Codificación en la que el ancho de banda es el mismo a lo largo del fichero. En inglés, *Constant Bit Rate*.

CNM. Proceso consistente en diseñar, instalar, operar y gestionar la distribución de información y controlar su empleo por parte de los usuarios finales de los sistemas de comunicaciones. En inglés, *Communication Network Management*.

Codec. Codificador/decodificador, o bien, compresor/descompresor. También se emplea para hacer referencia al tipo de estándar de compresión que se utiliza para la transmisión del vídeo.

Compresión. Reducción de la cantidad de datos o información digital de un archivo mediante hardware o software. También se emplea el término codificación.

DES. Algoritmo de cifrado que permite cifrar la información. También es denominado DEA (*Data Encryption Algorithm*).

HDTV. Tipo de resolución muy popular en sistemas de seguridad, el cual se emplea cuando el sistema de vídeo utiliza una mayor resolución que la estándar. En inglés, *High Definition TV*.

LCD. La tecnología LCD se utiliza en la mayoría de monitores actuales, y puede existen los siguientes tipos: TN (*Twisted Nematic*), STN (*Super Twisted Nematic*) y GH (*Guest Host*).

IAB. Grupo creado por la ISOC, con el objetivo de verificar que se están cumpliendo las normas. Son los responsables de definir la arquitectura de Internet, dando guías y orientaciones al IETF. Además, actúa como grupo de asesoramiento tecnológico de ISOC. En

inglés, *Internet Architecture Board*.

IEEE. Asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización. En inglés, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

IETF. Organización internacional abierta de normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas: transporte, encaminamiento y seguridad. En inglés, *Internet Engineering Task Force*.

I-frames. Incluyen toda la información de la imagen (*intraframes*).

ISOC. En inglés, *Internet Society*. Asociación sin fines de lucro que agrupa a profesionales de Internet de todo el mundo. Tienen el objetivo de mantener la viabilidad y crecimiento de Internet. Fue creada en 1992 por V.Cert y engloba las siguientes organizaciones: IAB (supervisión y aprobación de normas), IETF (especificación de estándares), IESG (coordinación) e IANA (asignación de recursos).

ITU. Unión Internacional de Telecomunicaciones. En inglés, *International Telecommunications Union*. Es uno de los organismos más antiguos de la normalización y está estructurado en tres sectores: el de normalización de telecomunicaciones (ITU-T) establecido para gestionar todas las actividades de normalización del antiguo CCITT, el de comunicaciones vía radio (ITU-R) y el sector de desarrollo el cual gestiona la asistencia a países en vías de desarrollo en materia de telecomunicaciones.

MIB. Las entidades de una arquitectura SNMP utilizan módulos estandarizados de manera que su asociación con los dispositivos gestionados resulte lo más sencilla posible. El fabricante de los equipos de red es quien proporciona el entorno de identificación específico. En inglés, *Management Information Base*.

MTTR. Definición utilizada en provisión de servicios el cual está relacionado con la vida útil de un equipo. En inglés, *Mean Time to Repair*.

NTSC. Norma de televisión empleada principalmente en EEUU, Japón y Latinoamérica. Este sistema de TV con la norma M (sistemas de TV de difusión) proporciona una relación de 30 cuadros de vídeo por segundo. En concreto, 525 líneas de barrido de las cuales componen la trama visible.

ONM. Término que se refiere a la arquitectura de gestión de redes abiertas que permite a los usuarios y vendedores incluir en redes SNA la gestión de recursos no pertenecientes a IBM ni al entorno SNA. En inglés, *Open Network Management*.

LAN. Red de área local, normalmente privada, que abarca una extensión reducida y a la que se pueden conectar diferentes dispositivos. Tradicionalmente se consideran tres tipos de topologías: en estrella, en bus y en anillo.

M-JPEG. Método de compresión digital de vídeo en el que se mantiene toda la información de cada imagen. En inglés, *Motion-JPEG*.

MPEG. Estándar de compresión digital de vídeo en el que la mayoría de las imágenes se reconstruyen a partir de la información de las otras. Existen cuatro tipos, empleándose en la actualidad el 2 y el 4. En inglés, *Motion Picture Expert Group*.

OC-N. La especificación SONET define una jerarquía de datos digitales normalizados, que consta de diferentes niveles de velocidad para transportar distintos grupos de señales STS- 1 (en inglés, *Synchronous Transport Signal Level*) mutuamente sincronizadas para formar una señal STS-N. Una velocidad OC-N es equivalente a una señal eléctrica STS-N. En inglés, *Optical Carrier*.

OMS. El hardware de red OTN incorpora una solución software de gestión de red para funciones de monitorización de interfaces de red (físicas o virtuales) y estado de elementos integrados en la plataforma mediante la definición de objetos y registro de elementos que se quieran mantener controlados. La versión del paquete software de este módulo incorporado dependerá de la configuración y versión de red OTN específica que se utilice. En inglés, *OTN Management System*.

PAL. Norma de televisión empleada principalmente en Europa y Latinoamérica. Este sistema de TV se caracteriza por la visualización de 625 líneas horizontales y una relación de aspecto del orden de 4:3.

PDU. Unidad de datos la cual se especifica en el protocolo de la capa correspondiente y contiene la información de control del protocolo y datos de usuario. Por ejemplo, PDU en iSCSI.

PIM-SM. Protocolo de encaminamiento Multicast en redes de paquetes o difusión multipunto, pensado fundamentalmente para redes con un ancho de banda limitado. Este protocolo hace uso de la técnica de distribución de paquetes de árbol compartido, internamente consiste en que los sistemas intermedios reutilizan las tablas de encaminamiento unicast (envío de una copia a cada dispositivo receptor) existentes en los nodos de red presentes en la red de paquetes OTN. Es importante mencionar que este modo de encaminamiento o técnica de transmisión multimedia resulta muy eficiente cuando el sistema tiene un ancho de banda limitado para el procesamiento y rendimiento del mismo. En inglés, *Protocol Independent Multicast Sparse Mode*.

RFC. Recomendaciones dadas por el comité IAB para la estandarización de la familia de protocolos TCP/IP. Incluye documentos informativos y propuestas de estándares. En inglés, *Request for Comments*.

RS-232. Interfaz normalizada (EIA-232) entre un equipo terminal de comunicaciones (DTE) y un equipo de comunicaciones (DCE) para la transferencia de datos en modalidad serie.

Sondeo. Método de control de terminales en una red multipunto, consistente en que cada terminal es interrogado por turno, para conocer su disposición a transmitir o recibir. En inglés, *Polling*.

SONET. Interfaz de transmisión óptica propuesta por BellCore en 1985 y estandarizada por ANSI. En inglés, *Synchronous Optical Network*.

SNMP. Protocolo de gestión de red simple, que consta de tres partes: estructura de la información de gestión (SMI), base de gestión de información (MIB) y el propio protocolo de gestión (SNMP). En su inicio se creó para TCP/IP.

STM. Modo de transferencia síncrono, en el que las tramas son fijas, con un número definido de canales por trama, como es el sistema MIC. En inglés, *Synchronous Transfer Mode*.

STP. Dos conductores trenzados entre sí, para minimizar el efecto de la inducción entre ellos, y recubiertos de una pantalla metálica, para evitar la radiación.

Switch. El switch, elemento básico de las redes, cumple la misma función que un hub pero se caracterizan por tener una cierta inteligencia que los hace más eficientes. Es decir, en vez de repetir la señal a todas las bocas, sólo la envían a la salida correspondiente, lo cual permite reducir el tráfico de red.

TDM. Técnica de multiplexación por división en el tiempo, que permite intercalar los datos procedentes de varios usuarios en un único canal, vía serie.

Transmisión Síncrona. Método de transmisión de datos en el que el instante de transmisión de cada señal que representa un elemento binario está sincronizado con una base de tiempos.

Transceptor. Dispositivo empleado en las redes banda base para adaptar la señal digital al medio de transmisión, normalmente un cable coaxial. En inglés, *Tranceiver*.

Transmisión en Serie. Los bits que forman la información se transmiten secuencialmente a través del medio. En inglés, *Serial Transmision*.

UDP. Protocolo orientado a la transmisión de datagramas en una red que utiliza el protocolo IP. No se garantiza el grado de servicio y los paquetes pueden llegar en un orden distinto al que han sido emitidos, ya que cada uno puede seguir un camino distinto. Es un protocolo no orientado a conexión. En inglés, *User Datagram Protocol*.

UTP. Dos conductores trenzados entre sí, para minimizar el efecto de la inducción electromagnética entre ellos. Un cable UTP, normalmente, contiene cuatro pares de hilos aislados dentro de una cubierta plástica común.

VMD. Característica de detección de movimiento de vídeo muy común en los sistemas de gestión de vídeo en red. Básicamente consiste en analizar los datos de las imágenes y las diferencias en las secuencias, de manera que se permite detectar el movimiento en cualquier parte del campo visual de una cámara. En inglés, *Video Motion Detection*.

VoD. Un sistema de vídeo bajo demanda es un sistema de televisión que permite al usuario el acceso a contenidos multimedia de forma personalizada, ofreciéndole de este modo, la posibilidad de solicitar y visualizar una película o programa concreto en el momento exacto en que el espectador lo desee.

Referencias

Las referencias bibliográficas que se han consultado son las siguientes:

- [1] Sitio web de soluciones de “videovigilancia”, *CCTV Digital*, Ip Tecno. Consulta durante los meses de Septiembre de 2011 y mes de Abril de 2013. Disponible [Internet]: <<http://www.iptecnio.com/catalogo-soluciones-videovigilancia-2012>>

- [2] Libro de redes, *Comunicaciones y redes de computadores*, W. Stallings. 6ª ed. 2003. ISBN: 8420529869. Pp: 263-267. Consulta durante los meses de Octubre de 2012 y mes de Enero de 2013. Disponible [Catálogo de Biblioteca]: <biblioteca.uc3m.es/uhtbin/cgiirsi/josLk0E3Hf/CCSSJJ/96270056/9>

- [3] Resumen de estándar ISO/IEC 15802-3:1998. IEEE *Computer Society*. Consulta durante los meses de Septiembre de 2011 y Octubre de 2012. Disponible [Internet]: <es.wikipedia.org/wiki/Rapid_Spanning_Tree_Protocol>

- [4] Resumen de estándar ISO/IEC 15802-3: 2006. IEEE *Computer Society*. Consulta durante los meses de Septiembre de 2011 y mes de Octubre de 2012. Disponible [Internet]: <es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.1Q>

- [5] Sitio web de catálogo de productos de vídeo en red, Redes IP, Axis. Consulta durante los meses de Noviembre y Diciembre de 2012. Disponible [Internet] <www.axis.com/es/products/>

- [6] Sitio web de soluciones de “videovigilancia” en entornos industriales, *CCTV Industrial*, Moxa. Consulta durante los meses de Septiembre de 2011 y mes de Enero de 2013. Disponible [Internet]: <www.moxa.com/product/Industrial_Ethernet.htm>

- [7] Resumen conceptual de red de transporte abierta, Sistema OTN. Consulta durante los meses de Octubre de 2012 y mes de Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <http://en.wikipedia.org/wiki/Open_Transport_Network>
- [8] Artículo sobre técnicas de gestión de memoria y almacenamiento de flujos en servidores de VoD, *Efficient memory management in video on demand servers*, A. García-Martínez, J. Fernández-Conde and A. Viña. Pp: 551-552. Consulta durante el mes de Octubre de 2012. Disponible [Archivo de Biblioteca]: <e-archivo.uc3m.es/handle/10016/2847>
- [9] Resumen de técnica de multiplexación en el tiempo en comunicaciones de datos con dispositivos con conexión directa a redes IP, TDM síncrona. Consulta durante el mes de Octubre de 2012. Disponible [Internet]: <<http://en.wikipedia.org/wiki/TDMoIP>>
- [10] Estándar de fibra monomodo G.657B: 2007. WP7115 Study Group, ITU-T. Consulta durante los meses de Octubre de 2012 y Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <www.corning.com/docs/opticalfiber/wp7115.pdf>
- [11] Recomendación G.657: 2009. Serie G. 15 Study Group, ITU-T. Consulta durante los meses de Octubre de 2012 y Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <www.itu.int/rec/T-REC-G.657-200911-S/en>
- [12] Resumen de recomendación H.264: 2007. Serie H. VCEG y MPEG Groups, ITU-T. Consulta durante los meses de Octubre de 2011 y Noviembre de 2012. Disponible [Internet]: <www.itu.int/rec/T-REC-G.657-200911-S/en>
- [13] Resumen de tecnología de comunicación serie para equipos con capacidad de comunicación en bus multipunto e interfaces serie, RS-232. Consulta durante los meses de Octubre de 2012 y Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <en.wikipedia.org/wiki/EIA-232>
- [14] Referencia informativa del estándar de gestión de red SNMP v3: 2002. *Network Working Group*, IETF. Consulta durante los meses de Abril y Mayo de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc3414>
- [15] Resumen informativa del protocolo de transporte multimedia RTP: 2003. *Network Working Group*, IETF. Consulta durante los meses de Diciembre de 2012 y Abril de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc3550>
- [16] Resumen de conjunto de estándares MPEG-4 para codificación de objetos audiovisuales del ISO/IEC 14496:1998. 11 Working Group, IETF. Consulta durante los meses de Octubre de 2011 y Diciembre de 2012. Disponible [Internet]: <es.wikipedia.org/wiki/MPEG-4>
- [17] Referencia informativa de perfil de uso de RTP para flujos de audio y/o vídeo MPEG-2000. *Network Working Group*, IETF. Consulta durante los meses de Diciembre de 2012 y Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc3016>

- [18] Artículo sobre técnicas de encaminamiento multicast para tráfico IP en redes LAN, *The Internet Protocol Journal*, Cisco Systems .Vol.2. Num. 4. Pp: 10-18. Consulta durante el mes de Octubre de 2012. Disponible [Internet]: <http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_4-2/index.html>
- [19] Referencia informativa para la codificación de flujos de audio y/o vídeo y encapsulación de datos sobre el protocolo RTP: 2003. Network Working Group, IETF. Consulta durante los meses de Diciembre de 2012 y Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc3551>
- [20] Libro de redes, Redes de computadores: un enfoque descendente basado en Internet, J.F. Kurose. 2ª ed. 2003. ISBN: 8478290613. Pp: 605-607. Consulta durante el mes de Marzo de 2013. Disponible [Catálogo de Biblioteca]: <<http://biblioteca.uc3m.es/uhtbin/cgiirsi/K9OnENLIO7/CCSSJ/55910072/5/0>>
- [21] Referencia informativa de protocolo de monitorización de interfaces de red a nivel 2 RTSP: 1998. Network Working Group, IETF. Consulta durante el mes de Marzo de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc2326>
- [22] Referencia informativa de protocolo de encaminamiento multicast PIM-SM: 1998. Network Working Group, IETF. Consulta durante los meses de Noviembre de 2012 y Enero de 2013. Disponible [Internet]: <tools.ietf.org/html/rfc2362>
- [23] Resumen de estándar popular para audio y videoconferencia en tiempo real SIP. Consulta durante el mes de Enero de 2013. Disponible [Internet]: <es.wikipedia.org/wiki/Session_Initiation_Protocol>
- [24] Resumen de estándar alternativo para señalización de sesiones multimedia H.323. Consulta durante el mes de Enero de 2013. Disponible [Internet]: <<http://es.wikipedia.org/wiki/H.323>>
- [25] Rec. De estándar de compresión de vídeo avanzada MPEG-4 Parte 10: 2009. Network Working Group, ITU-T. . Pp: 110-112. Consulta durante los meses de Octubre y Noviembre de 2012. Disponible [Internet]: <www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=9710>
- [26] Resumen de estándar de compresión para videoconferencias o codificadores de vídeo del tipo MPEG-4 Parte 2. Consulta durante los meses de Octubre y Noviembre de 2012. Disponible [Internet]: <<http://es.wikipedia.org/wiki/H.263>>

[27] Libro de redes, Redes de computadores: un enfoque descendente basado en Internet, J.F. Kurose. 2ª ed. 2003. ISBN: 8478290613. Pp: 739-745. Consulta durante el mes de Marzo de 2013. Disponible [Catálogo de Biblioteca]:

<<http://biblioteca.uc3m.es/uhtbin/cgiirsi/K9OnENLIO7/CCSSJ/55910072/5/0>>

[28] Resumen de protocolo inicial de monitorización SGMP. Consulta durante el mes de Mayo de 2013. Disponible [Internet]:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Simple_Gateway_Monitoring_Protocol>

[29] Referencia informativa de protocolo SNMP: 1989. *NW Group*, IETF. Consulta durante el mes de Mayo de 2013. Disponible [Internet]: <<http://tools.ietf.org/html/rfc1098>>

[30] Referencia informativa de la arquitectura integrada sobre la versión 3 del protocolo SNMP v3: 2002. *NW Group*, IETF. Consulta durante el mes de Mayo de 2013. Disponible [Internet]: <<http://tools.ietf.org/html/rfc3411>>

[31] Referencia informativa sobre el módulo de gestión MIB-II: 1991. *NW Group*, IETF. Consulta durante el mes de Mayo de 2013. Disponible [Internet]:

<<http://tools.ietf.org/html/rfc1213>>

[32] Resumen de equipamiento en redes ópticas OTN-X3M, OTN-2500 Mbps y OTN-10 Gbps. Consulta durante el mes de Abril de 2013. Disponible [Internet]:

<http://www.siptel.com/otn/data/en/spec_sheets.htm>

Contenido del anexo

Adjunto a esta memoria se incluye un segundo CD con diferentes contenidos relacionados con el listado de equipos técnicos para el diseño del presente proyecto. Es decir, para proporcionar el establecimiento de un servicio de vídeo en red sobre IP y hacer uso de una única plataforma para el envío y recepción por un lado de los flujos de vídeo desde la aplicación de TV de circuito cerrado, y por otro lado de los comandos de la solución de gestión de red disponible para una red OTN-X3M, se proponen los siguientes equipos y medios físicos los cuales cumplen con las funcionalidades concretas que se quieren cumplir en este proyecto.

El documento contiene exactamente las siguientes hojas de características o documentos técnicos de los diferentes equipos, medios físicos y tarjetas de conexiones que se deben incluir en la plataforma de red OTN-X3M para la integración del sistema completo:

- FO monomodo SM, tipo láser, de SI. Modelo Brand-Rex 57B.
- 12 cámaras de red, tipo DOMO. Axis 3203-V
- 3 codificadores de vídeo, tipo de compresión H.264. Axis Q7401
- 1 equipo servidor de gestión de vídeo, tipo VMS. Axis 250S
- 3 equipos servidores de PC con capacidad de procesamiento rápida. HP Proliant DL 380 G7 L5630
- 1 paquete de software de gestión de vídeo. Axis Camera Station Client.
- 1 equipo de grabación de vídeo digital. Axis 2460

- Cable coaxial UTP para conexiones de LANs del CCTV a la plataforma. Condumex Cordón Flex (Sin Blindar) Cat. 5e.
- Cable coaxial RG59 para distribución de señales de TV en circuito cerrado de la plataforma. RG59 B/U-80%.
- 3 equipos servidores de PC con capacidad de procesamiento rápida. HP Proliant DL 380 G7 L5630.
- 3 monitores para visualización de imágenes y gestión de eventos en módulo OMS. HP f70 D5064 17" Color
- 3 switches Gb. Ethernet, compatibles con protocolo de nivel de enlace PIM-SM. Huawei S3326C-HI.
- 2 productos de software de virtualización de red OTN-X3M para gestión de recursos de la aplicación integrada en la plataforma. Solución de software específica OMS v3.0.
- 1 nodo de red N42C para integración de aplicación de virtualización de red OTN-X3M.
- 2 nodos de red N415 para integración de aplicación de TV en circuito cerrado o sistema CCTV en la red OTN-X3M.
- 12 tarjetas de interfaz Ethernet (capacidad máxima, 622 Mbps). Modelo ET100AE.
- 5 tarjetas de interfaz serie (tecnología serie RS232). Modelo RSXMM.
- 3 tarjetas de lógica común (funcionamiento en modo SDH). Modelo BORA-622-X3M.
- 3 tarjetas de codificación MPEG-4 Parte 10 (codificación de vídeo). Modelo H.264/AVC 16(4).